



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Dinámica fluvial, inundaciones y actuaciones de gestión de cauces en el tramo medio del río Ebro.
Del dragado al *curage*

Autor

Ignacio PUEYO BERNARDINI

Director

Marcos Gimeno Gutiérrez

Facultad de Filosofía y Letras. Grado de Geografía y Ordenación del Territorio
Curso 2021-2022

Noviembre de 2022

Polvo, niebla, viento y sol
y donde hay agua, una huerta;
al norte, los Pirineos:
esta tierra es Aragón.

Al norte, los Pirineos
al sur, la sierra callada,
pasa el Ebro por el centro
con su soledad a la espalda.

Dicen que hay tierras al este
donde se trabaja y pagan...
Hacia el oeste el Moncayo
como un dios que ya no ampara.

Desde tiempos a esta parte,
vamos camino de nada,
vamos a ver como el Ebro
con su soledad se marcha.

Y con el van en compañía
las gentes de estas vaguadas,
de estos valles, de estas sierras,
de estas huertas arruinadas.

Polvo, niebla, viento y sol
y donde hay agua, una huerta;
al norte, los Pirineos:
esta tierra es Aragón.

JOSÉ ANTONIO LABORDETA, *Aragón*

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado es un estudio de las actuaciones fluviales que se han llevado a cabo o que se pueden llevar a cabo en los ríos de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, especialmente en los de la Comunidad Autónoma de Aragón y de forma más concreta en el río Ebro. El principal objetivo de este estudio es analizar las repercusiones que dichas actuaciones generan, poniendo el foco en las consecuencias e intentando identificar las medidas menos agresivas y de mayor eficacia.

Para ello se ha recurrido a tres líneas de trabajo distintas (cada una con su propia metodología específica): la comparativa con actuaciones similares llevadas a cabo en ríos diversos, el trabajo de campo en el propio río Ebro (*curages* de Alfaro y Valtierra) y el diálogo con los principales actores implicados en una conferencia convocada por la Unión de Agricultores y Ganaderos de Aragón (UAGA). En todo este proceso, los principales referentes teóricos han sido Gallego *et al.* (2016) para el análisis mediante simulaciones aplicando la fórmula de Manning; Chasco (2020), Byrnes *et al.* (2010) y Stepien (2019) sobre las consecuencias de los dragados; y Kondolf (1997) para los efectos de los embalses.

Los resultados obtenidos parecen sugerir que la medida más estudiada (los dragados) no sólo no consigue evitar los desbordamientos fluviales, sino que en determinadas circunstancias puede llegar a empeorarlos; y que en cualquier caso tanto la vegetación como los sedimentos eliminados mediante el dragado del cauce se regeneran en un plazo de tiempo relativamente breve. Por todo ello, concluimos que los dragados tienen escasos efectos positivos y varios potencialmente negativos, haciendo necesario dar con alternativas menos lesivas.

Una de estas posibles alternativas, estudiada con cierto detalle en el presente trabajo, son los llamados *curages*; una técnica que, en lugar de retirar sedimentos del cauce, se limita a descompactarlos en una serie de puntos estratégicos, formando canales que, llegado el caso, puedan actuar como cauces de alivio del cauce principal, reconectando paleocauces y ayudando en cualquier caso a laminar las riadas.

Palabras clave: dinámica fluvial, riadas, embalses, dragados, *curages*, gestión fluvial

Abstract

This dissertation analyses the different river management actions that have been undertaken in the past or might be undertaken in the rivers managed by the Ebro Basin Authority, focusing especially on those that flow within the borders of the Autonomous Region of Aragon (particularly the river Ebro itself). The main aim of the study is to examine the impact of the aforementioned management actions, highlighting their consequences and identifying those measures that are less environmentally aggressive and of greater efficacy.

To that end, three different lines of work have been explored, each with its own specific methodology: firstly, a comparison has been made between the rivers under study and others on which similar management actions have been carried out; secondly, some measure of field work has also been undertaken along the banks of the river Ebro, at the *curages* of Alfaro and Valtierra; finally, the arguments of those directly affected by the river's behaviour, debated at a conference called by the UAGA association, have been analysed. Throughout all this process, the theoretical framework used has been that defined mainly by the following referents: Gallego *et al.* (2016) for those analyses based on simulations applying Manning's formula; Chasco (2020), Byrnes *et al.* (2010) and Stepien (2019) on the consequences of river dredging; and Kondolf (1997) on the effects of damming.

The results obtained would seem to suggest that the most keenly debated measure, dredging, does not prevent flooding, and that indeed dredging can, under certain circumstances, make floods worse than they would have otherwise been. In any case, both the riparian vegetation and the river sediments removed via dredging seem to regenerate within a short period of time. It was found that river dredging has few positive effects and several that are potentially negative, leading us to conclude that less harmful alternatives must be explored.

So called *curages*, which we study here in some detail, might be one of those alternatives. A technique that de-compacts sediments but leaves them in place (as opposed to taking them away from the riverbed altogether), *curages* form a strategic network of points of less resistance which act as floodways, reconnect old paleobeds with the current basin and help to laminate floodings.

Keywords: channel dynamics, floods, dams, dredging, *curages*, river management

Prólogo

Siempre me han gustado los ríos. Los frecuentaba de pequeño, sobre todo durante los largos veranos de una infancia pasada a orillas del Escarra; y los he estudiado de adulto, especialmente desde tercer curso del Grado de Geografía y Ordenación del Territorio, cuando los estudiantes cursamos las asignaturas de Hidrogeografía y Geografía Física Aplicada II. Llegado el momento de elegir tema para el Trabajo Final de Grado no me lo pensé mucho. Quiero entender cómo funcionan los ríos. Quiero entender cómo los ríos afectan a las actuaciones humanas. Y quiero entender cómo las actuaciones humanas afectan a los ríos.

Los ríos de los que voy a hablar aquí vierten sus aguas al Mediterráneo, y no tienen, por lo general, el carácter apacible y tranquilo de sus homólogos atlánticos. Los míos serpentean, se esconden, colmatan, abandonan su cauce durante un tiempo y luego vuelven a él. O no. Tan pronto discurren casi secos como desbordan, y la convivencia con ellos, que nunca ha sido fácil, es cada vez más difícil. Paradójicamente, esta cuestión, la de la convivencia pacífica entre el río y sus vecinos, no ha sido tan estudiada como quizás debería. La información disponible al respecto no es sobreabundante y, para empeorar las cosas, es con frecuencia malentendida.

Quizás también vaya yo a ser malentendido. Voy a poner todo de mi parte para evitar que así sea, pero acuso como propios cuantos errores pueda cometer. Vaya por delante mi agradecimiento a cuantas personas han procurado que estos errores sean los menos posibles: mi director de TFG, Marcos Gimeno Rodríguez; mi director de prácticas en la Confederación Hidrográfica del Ebro, José Ramón Sánchez Puertas; Jose Luis Alonso, expresidente de la mencionada Confederación, que libre y espontáneamente se ofreció a ayudarme en cuanto pudiera; mi profesor de temas fluviales, Alfredo Ollero Ojeda; varios alcaldes y vecinos de municipios aledaños a los ríos estudiados, que han sido siempre extraordinariamente amables conmigo; y finalmente mis compañeros de promoción y amigos de la Universidad, a quienes tengo que dar las gracias por cuatro años fantásticos.

1. Introducción (páginas **10-13**)

1.1. Contexto del trabajo (página **10**)

1.2. Justificación del tema elegido (página **10**)

1.3. Objetivos (página **11**)

1.4. Área de Estudio (página **11**)

1.5. Conceptos Clave (páginas **12-13**)

1.5.1. Los dragados (página **12**)

1.5.2. Los curages (página **12**)

1.5.3. La fórmula de Manning (páginas **12-13**)

1.5.4. Canalización VS naturalización (página **13**)

2. Metodología (páginas **14-17**)

2.1. La revisión bibliográfica (páginas **14-17**)

2.2. La fotografía aérea (página **17**)

2.3. El trabajo de campo (página **17**)

3. Resultados (páginas **18-37**)

3.1. Análisis de la serie histórica (páginas **18-31**)
3.1.1. El Ebro a través de los tiempos: actuaciones fluviales entre 1927 y 2019

En función de su superficie (páginas **18-19**)

3.1.2. Cantidad total de actuaciones de dragado (páginas **19-23**)

3.1.2.1. Evolución de la cantidad total de dragados a lo largo del tiempo (1959 - 2011) (páginas **20-21**)

3.1.2.2. Cantidad total de dragados por municipio (1959 - 2011) (páginas **21-**

23)
3.1.3. Cantidad total de actuaciones de limpieza de cauces (páginas **23-24**)
3.1.3.1. Evolución de las limpiezas de cauce (1985-2016) (páginas **23-24**)

3.1.3.2. Cantidad total de limpiezas de cauce por municipio (1985-2016) (página **24**)

3.1.4. Cantidad total de extracciones de áridos (páginas **24-26**)

3.1.4.1. Evolución de las extracciones de áridos (1927 - 2019) (páginas **25-26**)

3.1.4.2. Cantidad total de extracciones de áridos por municipio (1927-2019) (página **26**)

3.1.5. Cantidad total de volúmenes intervenidos (páginas **27-31**)

3.1.5.1. Actuaciones por municipios (páginas **28-29**)

3.1.5.2. Actuaciones por tramo (páginas **29-31**)

3.2. Evolución de las zonas dragadas (páginas **32-34**)

- 3.2.1. Gallur (páginas **32-33**)
- 3.2.2 Cabañas de Ebro (páginas **33-34**)
- 3.3. *Curages* en la provincia de Zaragoza (páginas **35-36**)
 - 3.3.1. *Curages* en la provincia de Zaragoza ordenados en función de su longitud (página **35**)
 - 3.3.2. *Curages* en la provincia de Zaragoza (páginas **35-36**)
- 3.4. Síntesis de los resultados (páginas **37-38**)
- 4. Discusión (páginas **38-52**)
 - 4.1. Referencias bibliográficas (páginas **38-42**)
 - 4.2. Estrategia Ebro Resilience (páginas **42-43**)
 - 4.3. Serie Histórica de actuaciones realizadas sobre el Río Ebro (páginas **44-45**)
 - 4.4. Zonas dragadas en Gallur y Cabañas de Ebro (páginas **46-47**)
 - 4.5. Discusión *Curages* (páginas **47-48**)
 - 4.6. Mapas de inundación de la Confederación Hidrográfica del Ebro (páginas **48-50**)
 - 4.7. Ponencia de la UAGA (páginas **50-52**)
- 5. Conclusiones (páginas **53-54**)
- 6. Bibliografía (páginas **55-56**)
- 7. Anexos (páginas **57-73**)

1. Introducción

Los ríos son un elemento fundamental del territorio. Su recorrido condiciona la ubicación de los asentamientos humanos en el interior de los continentes. Y los humanos, al menos desde el momento en el que se hicieron sedentarios y comenzaron a “asentarse” junto a sus cauces,

han tratado de dominar este elemento natural, a veces sin entender que, como buen elemento natural que es, exige que sea respetado su espacio.

En la actualidad, y tras haber invadido sus llanuras de inundación, canalizado sus aguas y modificado intensamente su dinámica interna, sufrimos las consecuencias que esto conlleva y necesitamos prepararnos para prevenir y paliar los daños que podamos sufrir en el futuro. Por ello, en el marco de este TFG nos proponemos estudiar y analizar diversos factores de antropización del río, poniendo el foco en las llamadas “limpiezas” de sus cauces: los denominados *dragados*.

1.1. Contexto del trabajo

El presente trabajo es a la vez mi primer proyecto de investigación y la última práctica del grado universitario en Geografía y Ordenación del Territorio que comencé a cursar en Zaragoza hace ahora cuatro años. Aunque yo no lo sabía por aquel entonces, mi Trabajo de Fin de Grado (TFG) comenzó a gestarse durante la propia carrera, fue tomando impulso durante las prácticas externas que realicé para Ramón Sánchez Puertas (departamento de aguas), desde el 18 de febrero hasta el día 8 de abril de 2022 en la Confederación Hidrográfica del Ebro y, con un poco de suerte, lograré que se materialice a tiempo para presentarlo públicamente en noviembre del presente año.

1.2. Justificación del tema elegido

Los ríos han sido siempre un factor de gran importancia en mi vida. También en la de muchas personas. Son, indiscutiblemente, una fuente de beneficios para el ser humano. Pero son también riesgos potenciales que pueden generar graves daños a la población. Lo sé bien. Vivo en una ciudad emplazada a orillas del Ebro, atravesada a hurtadillas por el Huerva, enlazada con varios de sus barrios rurales por el Gállego y limitada en su extremo sur por un río artificial que discurre paralelo al primero hasta desaparecer, convertido en acequia, aguas abajo de Zaragoza.

El Ebro es el río más caudaloso de España, y cada cierto tiempo desborda, anegando campos, causando destrozos y amenazando a veces con inundar el casco urbano de municipios cuya población debe ser evacuada preventivamente por su propia seguridad. Los vecinos de esos municipios son en realidad mis vecinos. La manera en la que conviven con el río me toca de cerca porque también yo vivo a orillas del Ebro. Por ello, por ellos y por mí he elegido el tema que he elegido.

1.3. Objetivos

En el presente trabajo nos proponemos analizar las consecuencias para el medio natural y humano de las distintas actuaciones que, de unos años a esta parte, se han venido llevando a cabo en los cursos fluviales de la cuenca hidrográfica del Ebro en aras de evitar o paliar los efectos de unas inundaciones que se perciben como cada vez más frecuentes y catastróficas.

Pretendiendo igualmente identificar las medidas más eficaces, confrontaremos los resultados conseguidos sobre el papel con los resultados alcanzados sobre el terreno. Finalmente, y dado que toda medida acarrea una serie de consecuencias, intentaremos identificar aquellas medidas menos agresivas para los medios natural y humano.

Esperamos que este análisis neutral pueda servir de guía en la implementación de futuras medidas, ya que la prevención de los riesgos ambientales es un tema que nos afecta a todos, y combatirlos de manera eficaz es también del interés de todos. Confiamos por lo tanto en que, en la medida de lo posible, este trabajo sea accesible no sólo para los agentes ya implicados en la gestión de los cauces fluviales, sino también para el público en general y la sociedad a la que, mejor o peor, servimos.

1.4. Área de estudio

Aun teniendo presente el concepto de cuenca hidrográfica, el espacio y el tiempo del que disponemos obligan a circunscribir el presente trabajo a los límites administrativos de la Provincia de Zaragoza, coincidente a grandes rasgos con el curso medio del río Ebro. La provincia no sólo se analizará como un conjunto, sino que también se dividirá en tramo medio y bajo. La división se ha ejercido en La Zaida, ya que tras entrar en Alforque, el río se encaja y su dinámica es diferente al curso desde Novillas hasta La Zaida. Zaragoza es un punto diferencial entre las zonas aguas arriba y aguas abajo, ya que la pendiente desde Novillas a Zaragoza es menor y, por lo tanto, tiene mayor dificultad de desagüe que aguas abajo de Zaragoza, donde la pendiente es mayor.



Figura 1. Localización del área de estudio

1.5. Conceptos clave

1.5.1. Los dragados¹

Según el diccionario de la Real Academia Española, *dragar* es “ahondar y limpiar con draga los puertos, los ríos, etc.”. Esta acepción no es del todo acertada porque la retirada de las gravas o de parte del lecho fluvial no constituye propiamente una limpieza, sino una extracción con la que se pretende aumentar la profundidad de los cauces y, con ésta, la superficie inundable de un río. De acuerdo a la creencia popular más extendida, este aumento de la superficie inundable debería impedir a las aguas salir de su cauce, previniendo así las inundaciones o limitando sus daños. Sin embargo, no hay base científica que avale esta tesis. Todo lo contrario, como más adelante veremos.

1.5.2. Los curages²

Dentro de este nuevo paradigma que intenta encontrar alternativas menos agresivas a las intervenciones tradicionales de limpieza de los cauces fluviales encontramos los *curages*. Concebidos en inicio como una medida asimilable a los dragados (esto es, extracción de sedimentos mediante dragas), en la actualidad el término se aplica como sinónimo de *permeabilización* o *descompactación*.

La técnica del *curage* es un proceso mediante el cual se descompactan zonas de sedimentos fluviales creando artificialmente canales destinados a funcionar como cauces de alivio del cauce principal en caso de avenida extraordinaria. Estos canales, de entre 10 y 15 metros de anchura, pueden ayudar a reconectar paleocauces, procurando en cualquier caso laminar las riadas para reducir el impacto de éstas sobre las poblaciones ribereñas. De este modo, no solo se mejora el desagüe del flujo, sino que se limita su peligrosidad y se ayuda a movilizar el sedimento anteriormente depositado por el propio río.

1.5.3. La fórmula de Manning³

La fórmula de Manning calcula la velocidad a la que fluye un curso de agua (un canal, una tubería...) en función de, entre otros parámetros, la pendiente del terreno por donde discurre y la resistencia ofrecida por la rugosidad del fondo y las paredes por las que dicho flujo circula. Cuanto menor sea el coeficiente de rugosidad (en el futuro, *coeficiente de Manning*), mayor será la velocidad del flujo. Dicho de otro modo, el agua de una tubería abierta, un canal o, en el caso que nos ocupa, un río, discurrirá a mayor velocidad cuanto menores sean los obstáculos que tenga que rebasar. Por lo tanto, a menor coeficiente de Manning, mayor será la velocidad de flujo, mayor la capacidad de transporte del río (ya que tiene más energía que cuando circula más lentamente) y mayor también la capacidad destructiva de las riadas. La fórmula de Manning ha sido

¹ Del francés *draguer*, y éste del inglés *to drag* (“arrastrar”).

² Del francés *curage*, derivado del verbo *curer* (“limpiar mediante el arrastre”), y éste del latín *curare* (“ocuparse de”).

³ Así llamada en honor de Robert Manning (1816-1897), el ingeniero irlandés que la describió en 1890.

aplicada por Gallego *et al.* (2016) en un intento de analizar las consecuencias de los dragados, siendo sus resultados particularmente relevantes para el tema que nos ocupa, como más adelante veremos.

1.5.4. Canalización VS naturalización

Las actuaciones que se pueden llevar a cabo en un río son diversas, pero en general se pueden agrupar en dos tendencias antagónicas: aquellas que conciben los cursos fluviales como canales y aquellas que los consideran elementos naturales cuya dinámica interna debe ser respetada dentro de lo posible.

Los partidarios de la canalización abogan por una regulación de caudales a conseguir mediante embalses, dragados y obras duras de defensa de márgenes. Embalses que ayudarían, en teoría, a la laminación del agua en las crecidas, y dragados que servirían, también en teoría, para encajar los cauces y minimizar el efecto de sus avenidas sobre la zona inundable (lo cierto es que estas afirmaciones, a pesar de tener bastante arraigo en la creencia popular, no tienen una base científica sólida, sino todo lo contrario, pues son numerosos los artículos que las desmienten. Véanse al efecto Kondolf 1997 y Ollero 2022).

Así las cosas, y si bien la idea de tratar a los ríos como canales ha sido el horizonte dominante durante los últimos siglos, parece que, de unos años a esta parte, estamos asistiendo a un cambio de paradigma con la emergencia de una nueva tendencia que aboga por un retorno al “estado de naturaleza” de los cauces fluviales.

La *naturalización* de los cauces trata de devolver a las zonas fluviales algunas de sus características naturales “perdidas” tras siglos de intervenciones humanas más o menos agresivas, proponiendo a cambio actuaciones tales como devolver a los ríos parte de su espacio inundable desaparecido (para que, en caso de avenida, ésta lamine mejor y no cause daños materiales) o remodelar la llanura de inundación para devolverla a su forma original⁴. En esencia, los partidarios de la naturalización de los ríos aceptan que éstos desbordarán porque está en su naturaleza hacerlo, y que, por lo tanto, en lugar de intentar evitar las inundaciones mediante embalses y dragados, es preferible dejar que las aguas circulen como siempre lo han hecho y mantener expedita la zona de inundación (siempre que sea posible) de modo que las avenidas inunden ésta y no las poblaciones humanas aledañas.

⁴ A pesar de la fuerza que tiene en el imaginario colectivo, la idea de río como cauce de agua más o menos constante, rectilíneo, razonablemente profundo y desprovisto de obstáculos o vegetación en su centro, es muy rara en la naturaleza. Lo cierto es que, dejados a su libre albedrío, los ríos pueden muy bien tener un caudal marcadamente estacional, un recorrido sinuoso constantemente modificado por el propio río y un cauce ancho pero somero formado por un número variable de canales que forman un trenzado salpicado de pequeñas islas que aparecen, desaparecen y se modifican en cada avenida. Varios de los ríos estudiados en el presente trabajo (como el Ebro o el Gállego) han sido bien estudiados por quienes se dedican a la reconstrucción de paleoambientes, constatando la existencia de cauces abandonados, paleocanales, antiguos trenzamientos, etc.

2. Metodología

No podemos hablar de una metodología en singular, pues los objetivos que nos hemos marcado son muy diversos y nos exigen adoptar estrategias distintas. Entre otras, se ha procedido a:

- la revisión de la bibliografía existente sobre el tema, analizando los resultados obtenidos en otras cuencas hidrográficas y comparándolos con la del río Ebro
- el uso e interpretación de la fotografía aérea
- el trabajo de campo, observando cómo las actuaciones planteadas sobre el papel se han desarrollado sobre el terreno
- la elaboración de una serie cartográfica (adjuntada como anexo) que, elaborada con datos obtenidos del histórico de la Confederación Hidrográfica del Ebro, facilite la comprensión y visualización de los diferentes factores estudiados

2.1 La revisión bibliográfica

Primera estación en el camino, y parada bastante temprana en el tiempo, la bibliografía consultada gira en torno a:

- los riesgos ambientales inherentes al mundo mediterráneo (específicamente, las inundaciones)
- la gestión de dichos riesgos mediante medidas tanto tradicionales (embalses, dragados...) como más novedosas (*curages*)
- los efectos que las mencionadas medidas tienen sobre los medios natural y humano
- y finalmente el análisis mediante simulaciones del comportamiento de un flujo en función de las características del cauce por el que discurre (pendiente, rugosidad, vegetación, velocidad, etc.)

Empecemos por este último.

El análisis mediante simulaciones ha sido estudiado por Gallego *et al.* (2016) en un estudio que aplica la fórmula de Manning en una rambla de la cuenca hidrográfica del Segura.

La fórmula de Manning es utilizada para medir la velocidad a la que discurre un flujo por un canal o una tubería abiertos, aplicando para ello parámetros como la pendiente o la rugosidad del cauce (siendo V “velocidad”, S la “pendiente” y n el “coeficiente de rugosidad”).

$$V = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Este coeficiente de rugosidad (en el futuro, coeficiente de Manning) es más o menos alto en función de los obstáculos que un río, canal o flujo debe atravesar en su discurrir. A mayor rugosidad, menor velocidad de flujo y, por lo tanto, menor energía y menor potencialidad destructiva del flujo estudiado.

El coeficiente de Manning es importante porque permite hacer simulaciones sobre cómo se comportará un flujo (en este caso, un río) cuando atravesase una zona provista o desprovista de sedimentos y/o vegetación. Gallego et al. (2016) concluyen que cuanto menor es la resistencia al flujo (es decir, cuantos menos son los obstáculos presentes en un cauce) mayor es el caudal pico de la avenida. Por lo tanto, y siempre según este estudio, medidas como los dragados (extracciones agresivas de sedimentos o vegetación) no sólo no servirían para paliar las inundaciones, sino que las harían más graves y peligrosas.

En línea con el trabajo de Gallego et al. (2016) está el trabajo de fin de máster de Chasco (2020), que versa igualmente sobre simulaciones del valor de Manning, aplicado en este caso a dos ríos catalanes: uno con mucha pendiente (el Osor) y otro con poca pendiente (el Ridaura). Chasco (2020) concluye que los dragados en los tramos bajos de ambos ríos conllevan un aumento de la velocidad del flujo de agua y un mayor caudal punta en las riadas, efectos especialmente acentuados

- allí donde no sólo se draga el curso bajo sino también los tramos medio y alto del río
- en los ríos de poca pendiente natural, en los que la rugosidad del fondo supone un mayor freno a la velocidad del flujo que en los ríos de alta pendiente

Ahondando en la controversia de los dragados tenemos igualmente el trabajo de un grupo de investigadores belgas (Gob et al., 2005) que estudiaron un río de la región de las Ardenas. El Semois es, como el Ebro, un río de escasa pendiente, meandrizante en su tramo medio, en el que se han llevado a cabo acciones de dragado. Gob et al. (2015) constataron que el dragado masivo del Semois había propiciado el encajonamiento del cauce, y concluyeron que este encajonamiento podía resultar peligroso cuando se presentaran crecidas.

Finalmente, una serie de investigadores vinculados al cuerpo de ingenieros militares de los Estados Unidos (Byrnes et al. 2010) realizaron un estudio sobre un estuario sito en Alabama periódicamente dragado y periódicamente colmatado. Esta bahía, dragada regularmente para retirar los sedimentos que, de otro modo, la colmatarían (haciendo imposible la navegación), vendría a demostrar que los ríos son, por naturaleza, agentes activos en el transporte de sedimentos; y que luchar contra esta naturaleza, si bien es posible, obliga a un importante y continuo desembolso económico.

Otro de los autores estudiados es George Mathias Kondolf, de quien se han consultado tres artículos (Kondolf, 1994; Kondolf, 1997 y Kondolf *et al.*, 2002). No entraremos aquí en el primero y el último, que versan sobre la ya estudiada cuestión de los dragados, pero sí en el de 1997, que trata de los embalses. Medida popular, aunque particularmente agresiva, Kondolf estudia las características de los embalses en tanto que actuación fluvial y concluye que:

- los embalses son un riesgo potencial para la población ribereña por el peligro que supone un posible colapso de la presa
- los embalses modifican la dinámica fluvial natural (Trullenque *et al.*, 2022)
 - impiden el movimiento del sedimento que naturalmente transporta el agua
 - propician la erosión y el encajonamiento del río
 - modifican el comportamiento de las especies animales que remontan el río

Finalmente, y en línea con esta última idea (esto es, en las repercusiones que las distintas actuaciones fluviales tienen sobre el factor biológico), está el trabajo de Stępień *et al.* (2019), que estudia los efectos de las acciones de limpieza de cauces sobre el ecosistema de un río polaco (el Krąpiel), constatando que tras el dragado:

- desciende el número de especies vegetales del propio río, especialmente las plantas no vasculares que se sustentan directamente sobre sedimentos fluviales, que tardan bastante tiempo en recuperarse
- aumenta el número de especies vegetales de las zonas próximas al río, especialmente las plantas vasculares
- aumenta el número de especies alóctonas, si bien con los años las especies autóctonas se van recuperando

La revisión del histórico de datos de la Confederación Hidrográfica del Ebro⁵ y la elaboración de gráficos y cartografías

Archivo incompleto, el histórico de datos no es un registro completamente fiable por diversos motivos: falta de sistematicidad en las series, posibles actuaciones ilegales no registradas, problemas en la recogida de los datos hasta la segunda mitad del siglo XX, etc. Así y todo, hemos intentado representar estos datos mediante gráficos (número de actuaciones, volumen de áridos retirados, etc.) y mediante mapas (localización del área estudiada, avenidas

⁵ Aunque el histórico de datos incluye series de Navarra y La Rioja, como el presente TFG se centra en la Comunidad Autónoma de Aragón se han revisado solo las series relativas a la Provincia de Zaragoza.

extraordinarias, zonas afectadas, zonas dragadas, municipios en los que se han realizado actuaciones, etc.).

Mención especial merecen los *curages* estudiados, que han sido parametrizados en función de su longitud y área, plasmados en un producto cartográfico específico y analizados con cierto detalle dentro de lo que no deja de ser un Trabajo de Fin de Grado.

2.2 La fotografía aérea

En casos puntuales se ha recurrido también al uso de ortofotos. Google Earth ha sido una herramienta de suma importancia, pues gracias a ella se ha podido analizar la evolución de los dragados realizados en Gallur y Cabañas de Ebro.

2.3 El trabajo de campo

Tras la revisión de la bibliografía académica y otros recursos equiparables, se ha procedido a la observación directa y la toma de datos sobre el terreno. La primera salida consistió en una visita a las localidades de Alfaro y Valtierra, y tuvo por objeto comprobar los efectos de una riada sobre los *curages* realizados en el Ebro años atrás. En esta visita se procedió a medir la superficie de los mencionados *curages* y se tomaron muestras de los sedimentos depositados por el río Ebro.

En otra línea, aunque también se puede considerar trabajo de campo, está la ponencia organizada el 21 de abril de 2022 por la Unión de Agricultores y Ganaderos de Aragón (UAGA), a la que acudí en calidad de oyente para poder escuchar de primera mano las opiniones de los diferentes actores implicados en la gestión de la cuenca hidrográfica del Ebro (técnicos de la confederación hidrográfica, ecologistas, académicos, autoridades varias y, por supuesto, los agricultores y ganaderos que convocaban el evento).

3. Resultados

3.1. Análisis de la serie histórica

En este primer apartado de los resultados se revisan las actuaciones de limpieza de cauces, dragados y extracción de áridos llevadas a cabo a lo largo de los años en el río Ebro a su paso por la provincia de Zaragoza. Se va a comenzar con una síntesis general que permita hacerse una idea de la evolución de la Provincia en su conjunto, y se pasará más adelante a detallar específicamente los municipios que han realizado una mayor cantidad de actuaciones sobre el cauce.

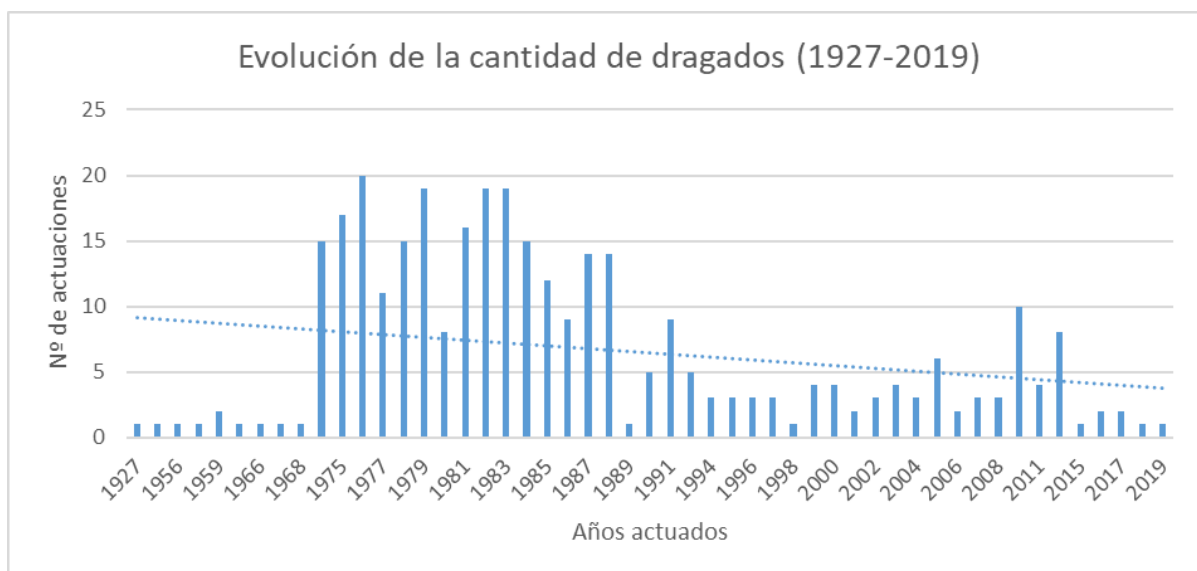
El histórico de datos que se maneja es asistemático e incompleto, por lo que no todas las series arrancan del mismo año, pero la mayoría se remontan, en cualquier caso, a las primeras décadas del siglo XX; un horizonte cronológico más allá del cual todo se vuelve difuso.

3.1.1 *El Ebro a través de los tiempos: actuaciones fluviales entre 1927 y 2019*

Contrariamente a lo que con frecuencia se cree, la idea de intervenir en el Ebro de forma sistemática y exhaustiva es bastante reciente. Tal y como puede observarse en la gráfica 1, el río fue dejado razonablemente a su aire hasta finales de los años sesenta, momento en el que las actuaciones fluviales se vuelven más frecuentes y más agresivas. Así y todo, y pese a sucesivos repuntes en 1974-1983, 1987-1989 y 2009-2014⁶, la tendencia general es descendente, con una media de 6,45 actuaciones/año que muy pocas veces se alcanza fuera de los periodos álgidos señalados.

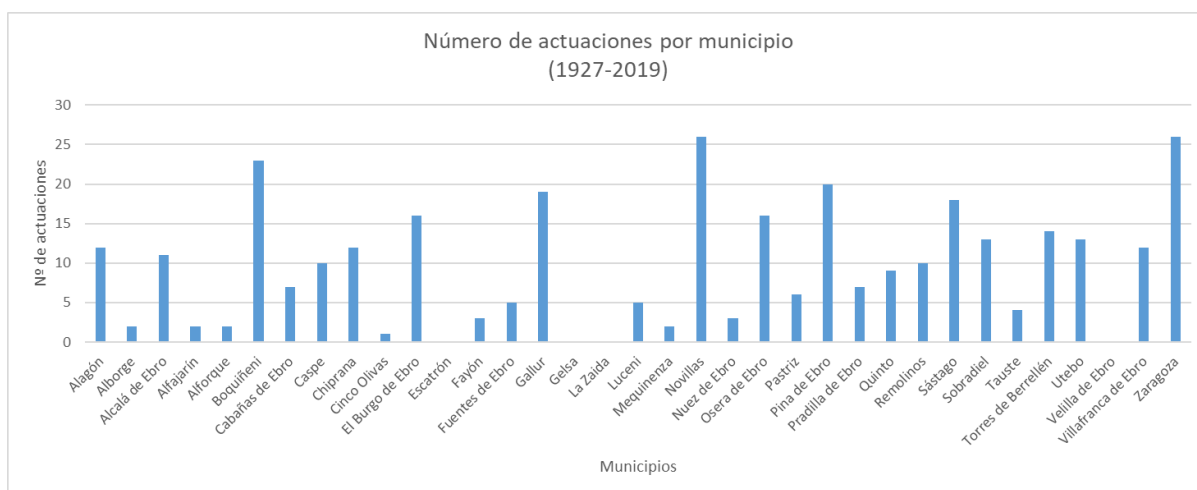
En la actualidad, y gracias en parte a estrategias como *Ebro Resilience*, la tendencia se mantiene a la baja, pues dragados, limpiezas de cauce y extracciones de áridos están siendo sustituidos progresivamente por otro tipo de actuaciones fluviales tales como zonas de inundación controlada, cauces de alivio o *curages*.

⁶ El periodo 2009-2014 será estudiado en detalle más adelante para analizar las zonas afectadas por la riada de 2015; una inundación que, de ser los dragados una medida preventiva tan eficaz como sus partidarios aducen, no debería haberse producido si quiera (después de todo, el Ebro había sido intensamente dragado en los años inmediatamente anteriores). Contrástese esta riada con la de 2003, acaecida tras un largo periodo de escasos dragados.



Gráfica 1: evolución del número de actuaciones o dragados en la provincia de Zaragoza (1927-2019)

Hay que fijarse en la cantidad de actuaciones llevadas a cabo por cada municipio de la provincia de Zaragoza en el periodo comprendido entre 1927 y 2019. Tal y como puede observarse en la gráfica 2⁷, los municipios en los que se han realizado un mayor número de actuaciones son Novillas y Zaragoza (empatados en primer puesto con 26 actuaciones cada uno) y Boquiñeni (con 23 actuaciones totales).



Gráfica 2. Número de actuaciones realizadas por municipio de la provincia de Zaragoza (1927-2019)

3.1.2. Cantidad total de actuaciones de dragado

El dragado consiste en la retirada de una parte de la coraza fluvial para aumentar el volumen de agua que puede caber en su cauce. Por lo general, la deseada ampliación suele ser de dimensiones más bien modestas, no lográndose por lo tanto el objetivo de ampliar

⁷ Nótese que el gráfico muestra únicamente el número de actuaciones totales, no la cantidad de sedimentos dragados o el volumen excavado, datos quizás más relevantes. Así y todo, creemos que el gráfico es no obstante útil para realizar un primer acercamiento a las afecciones de la zona estudiada.

significativamente el volumen de agua que el río es capaz de contener sin llegar a desbordarse⁸.

En este apartado se revisará la cantidad total de dragados realizados en el río Ebro a su paso por la provincia de Zaragoza, intentando identificar las distintas tendencias que se han sucedido a lo largo de los años. Por ello, se va a hablar primero de la situación general, pasando más tarde a mencionar los municipios en los que se han realizado una mayor cantidad de dragados sobre el cauce.

3.1.2.1. Evolución de la cantidad total de dragados a lo largo del tiempo (1959 - 2011)

Tal y como puede observarse en el gráfico 3, el número de dragados en el río Ebro se ha mantenido casi constante a lo largo del tiempo, exceptuando los años 1979 y 1983.

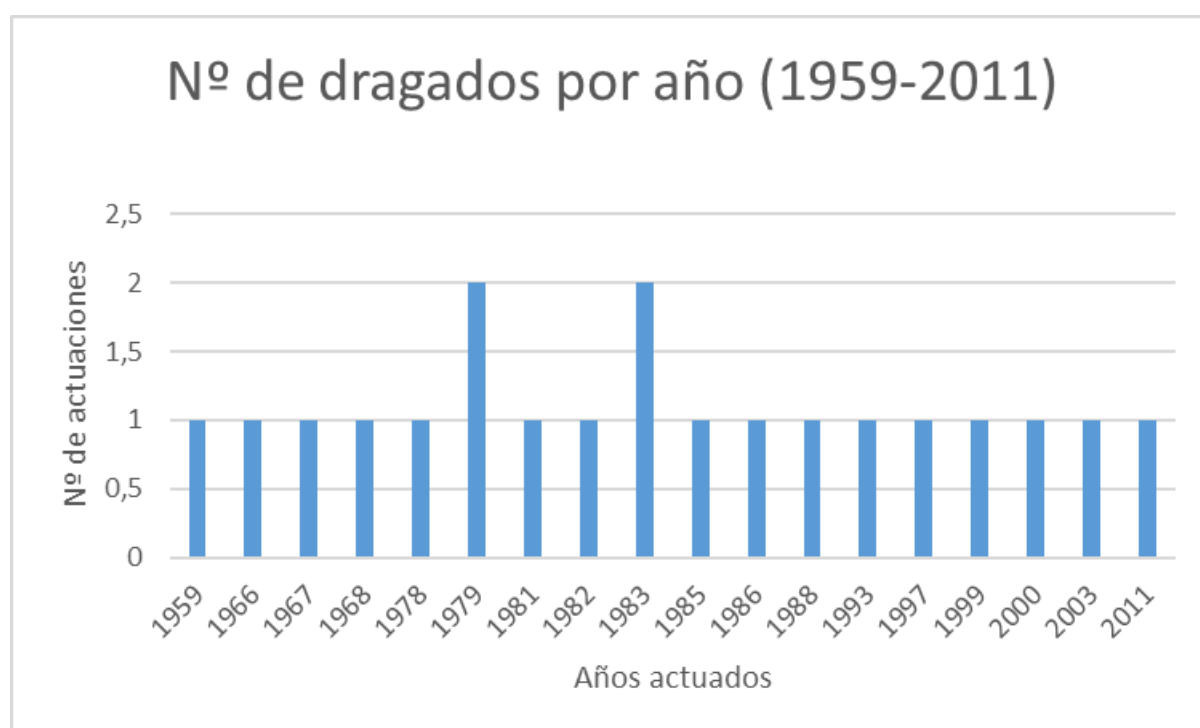


Gráfico 3. Número de dragados por año (excluyendo extracción y limpieza de cauces) (1959-2011)

⁸ Como contrapartida, los dragados suelen generar graves alteraciones a medio y largo plazo, tanto en la zona dragada como aguas abajo.

Se va a mostrar el mapa con la época de 1978-1982:

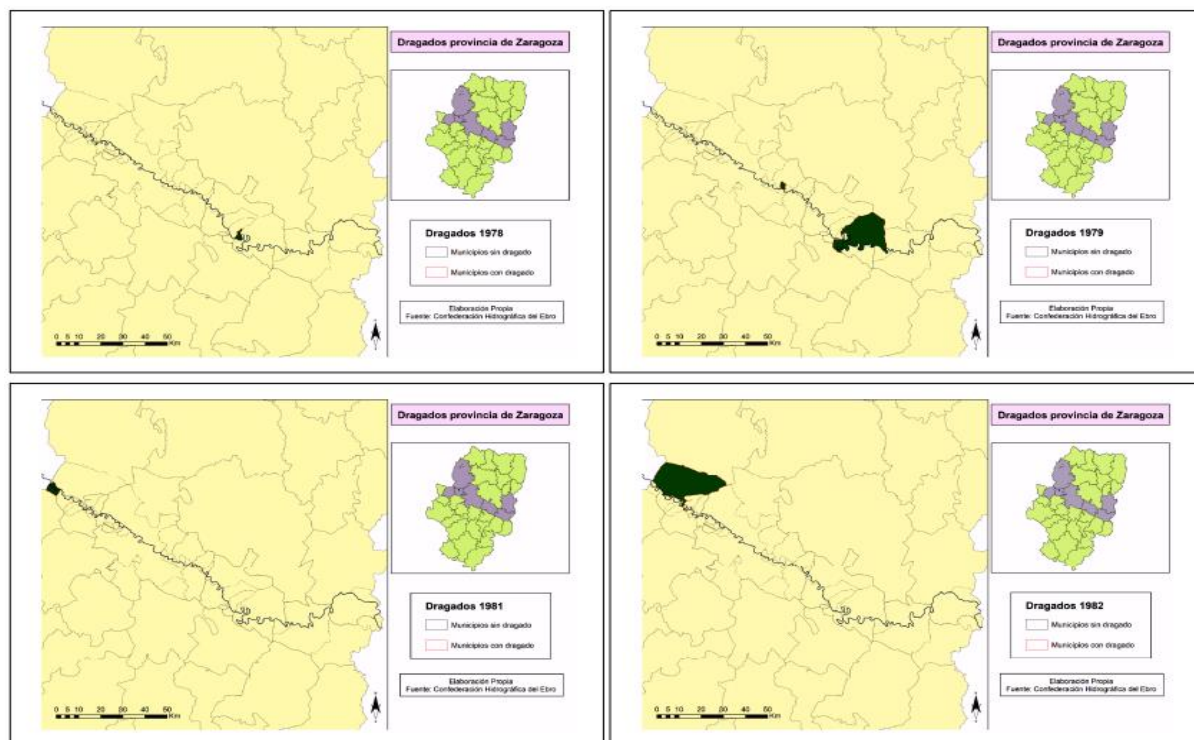


Figura 2. Municipios con dragado en la provincia de Zaragoza (1978-1982)

3.1.2.2. Cantidad total de dragados por municipio (1959 - 2011)

En lo que refiere a la distribución espacial de los dragados antes mencionados, su distribución por municipios es la siguiente:

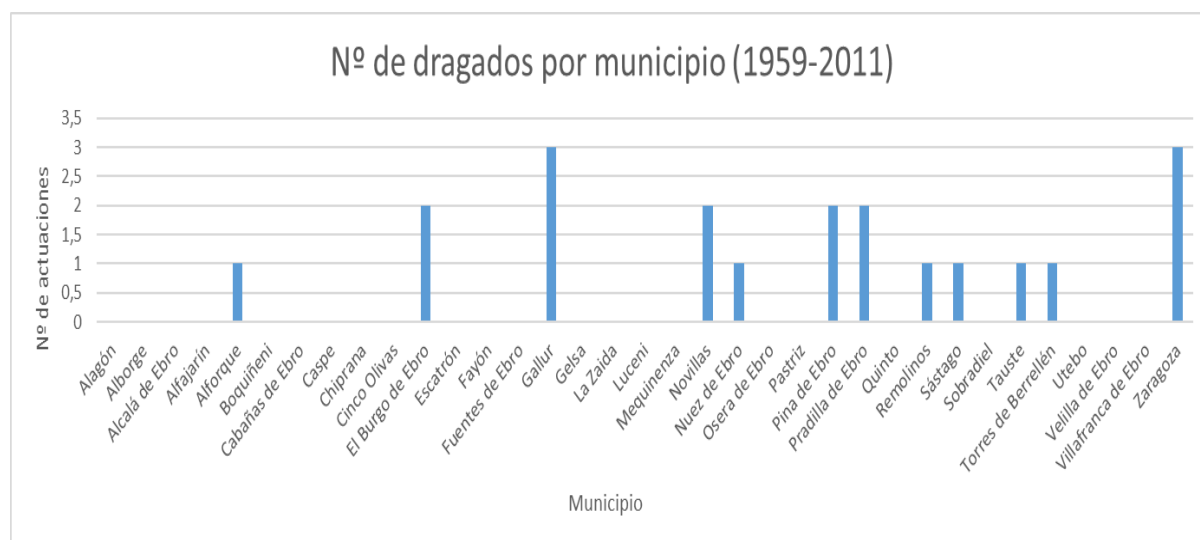


Gráfico 4. Número de dragados por municipio (excluyendo extracción y limpieza de cauces) (1959-2011)

Tal y como puede observarse, los municipios en los que más intensamente se ha dragado son los situados en la ribera media del Ebro (tramo comprendido entre Novillas y La Zaida),

siendo los municipios de Gallur y Zaragoza los más reseñables, y situándose en segundo lugar Novillas, Pina de Ebro y Pradilla de Ebro.

3.1.3. Cantidad total de actuaciones de limpieza de cauces⁹

En este apartado se tendrá en cuenta la cantidad de limpiezas de cauce realizadas sobre el río Ebro en la provincia de Zaragoza en el periodo para el que tenemos registros va de 1985 a 2016. En primer lugar, se hablará de la situación general a lo largo de los años estudiados; más tarde, se mencionarán los municipios en los que se ha realizado una mayor cantidad de limpiezas de cauce.

3.1.3.1. Evolución de las limpiezas de cauce (1985 - 2016)

A diferencia de lo observado con los dragados, en el caso de las limpiezas de cauce la tendencia es claramente alcista, aunque salpicada por años poco actuados o sin actuación. Casi testimoniales hasta el año 2008, las limpiezas de cauce experimentaron un repunte en los años 2009 y 2013 (coincidiendo con dos avenidas extraordinarias del río Ebro cuyas aguas dejaron, al retirarse, numerosos vertidos humanos y restos de vegetación arrastrada que hubo que limpiar).

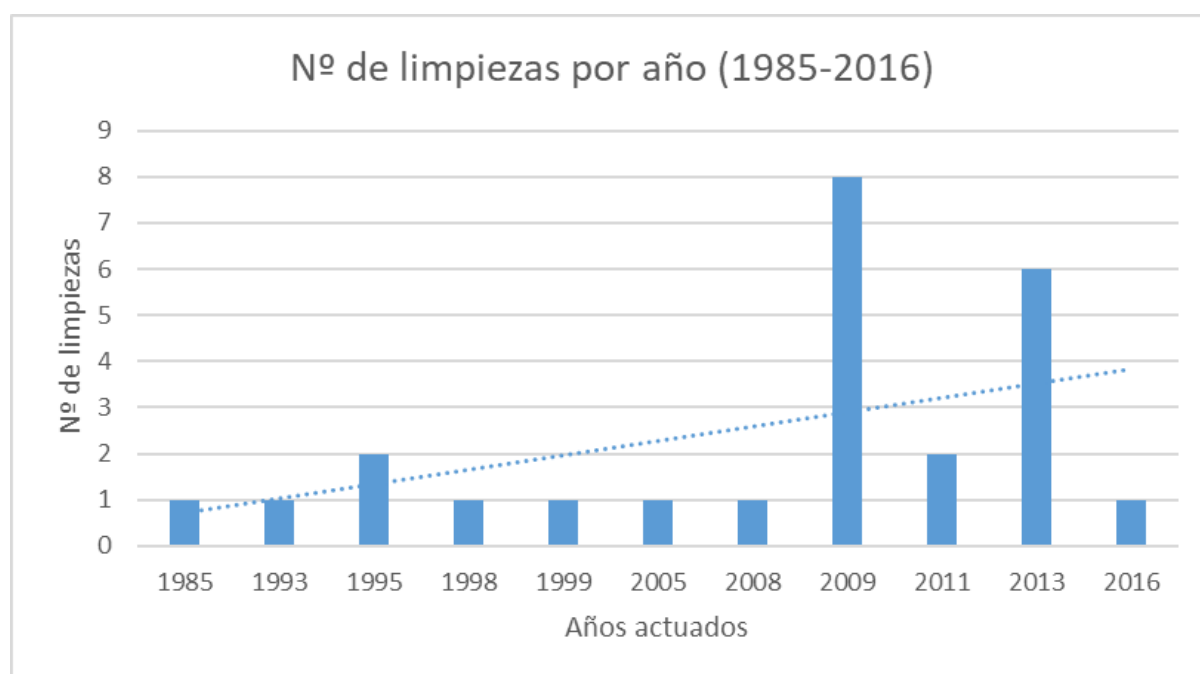


Gráfico 5. Número de limpiezas de cauce por año (excluyendo extracción y dragado) (1985-2016)

⁹ Es imposible saber si “limpieza de cauces” hace referencia a la limpieza de vertidos, a la limpieza de vegetación que interrumpa el normal funcionamiento del cauce (véase los juncos en el cauce del Huerva) o a la limpieza de la vegetación ribereña en general. Así y todo, la limpieza de cauces es la más minoritaria de cuantas actuaciones se estudian en el presente apartado.

Se va a mostrar un mapa con la época 2011-2016:

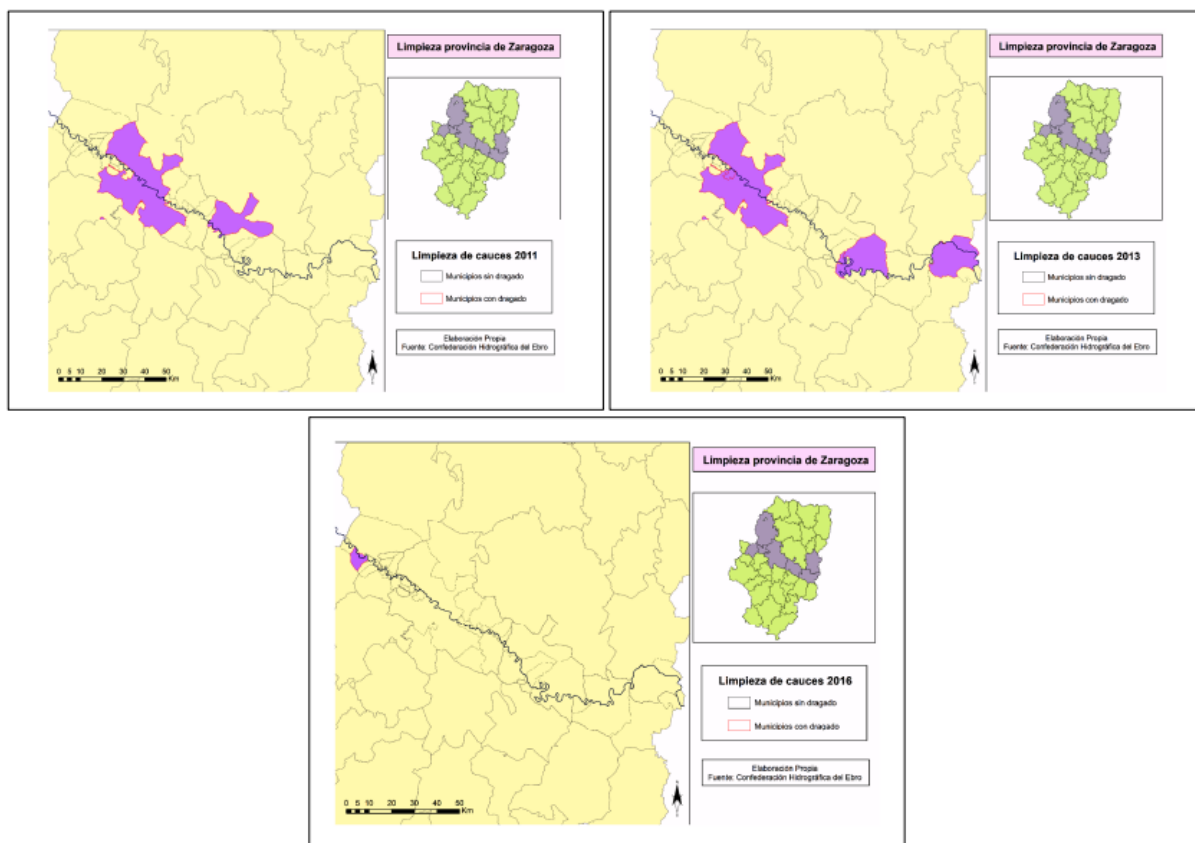


Figura 3. Municipios con limpieza de cauces en la provincia de Zaragoza (2011-2016)

3.1.3.2. Cantidad total de limpiezas de cauce por municipio (1985 - 2016)

Se puede ver con claridad que el municipio más actuado es Gallur, con cuatro limpiezas en el período estudiado, seguido por Novillas (con tres limpiezas) y los municipios de Boquiñeni, Cabañas de Ebro, Pradilla de Ebro, Sástago y Zaragoza (con dos limpiezas cada uno).

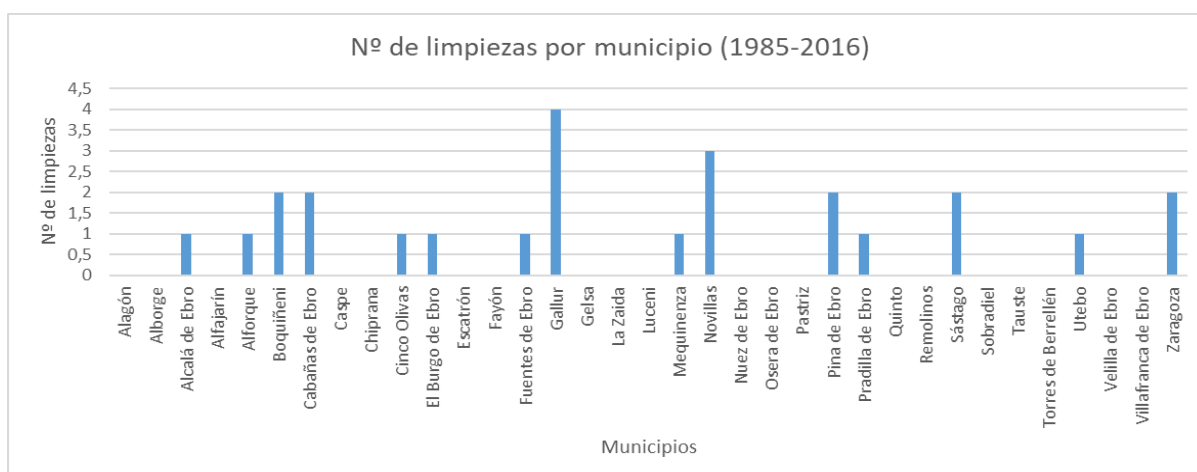


Gráfico 6. Número de limpiezas de cauce por municipio (excluyendo extracción y dragados) (1959-2011)

3.1.4. Cantidad total de extracciones de áridos

Actuación parecida a los dragados, la extracción de áridos consiste en la retirada de sedimentos del fondo del río. De todas las categorías aquí estudiadas, las extracciones de áridos son las que con más frecuencia se realizan en la ribera del Ebro. Como viene siendo habitual, se hablará primero de la situación general y de la evolución de las extracciones de áridos a lo largo de los años, pasando más tarde a mencionar los municipios con mayor cantidad extraída sobre el cauce.

3.1.4.1. Evolución de las extracciones de áridos (1927 - 2019)

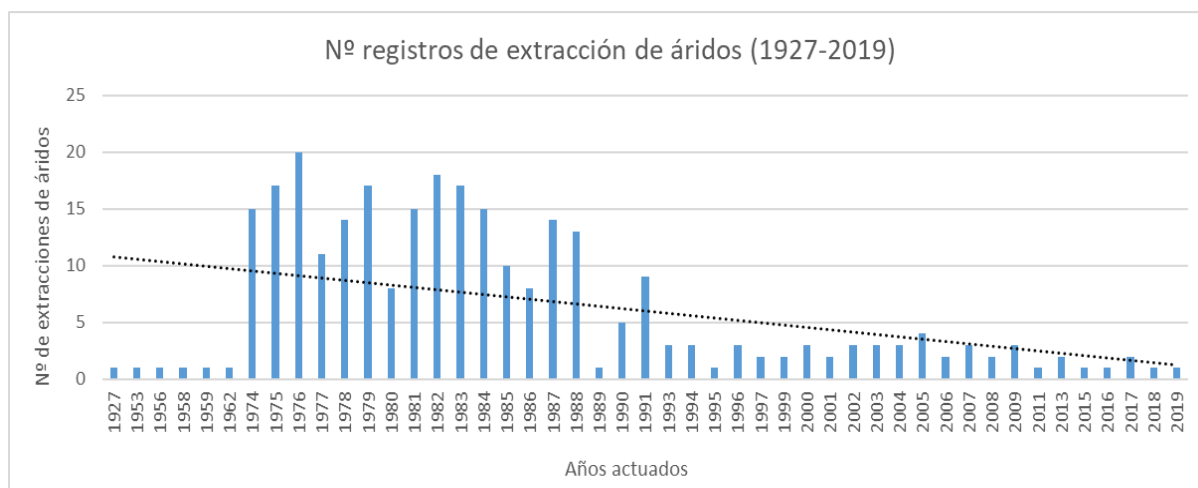


Gráfico 7. Número de extracciones de áridos por año (excluyendo dragados y limpiezas de cauce) (1927-2019)

Tal y como sucedía en el caso de los dragados, las extracciones de áridos fueron relativamente escasas hasta la década de los sesenta, gozaron de bastante popularidad a lo largo de los años setenta y ochenta, y han sido progresivamente abandonados desde los años noventa en adelante.

Se va a mostrar un mapa de la época con mayor actuación (1976-1979):

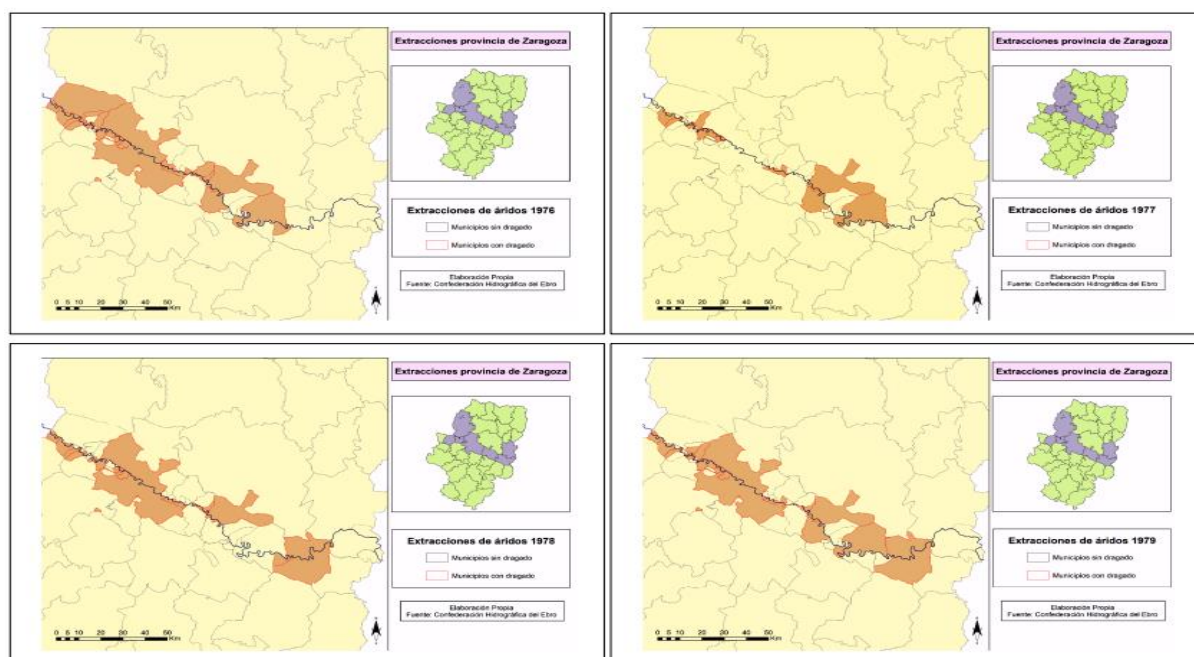


Figura 4. municipios con extracción de áridos en la provincia de Zaragoza (1976-1979)

3.1.4.2. Cantidad total de extracciones de áridos por municipio (1927 - 2019)

A continuación, se va a mostrar la cantidad de extracciones de áridos en los diferentes municipios de la provincia de Zaragoza dentro del período mostrado.

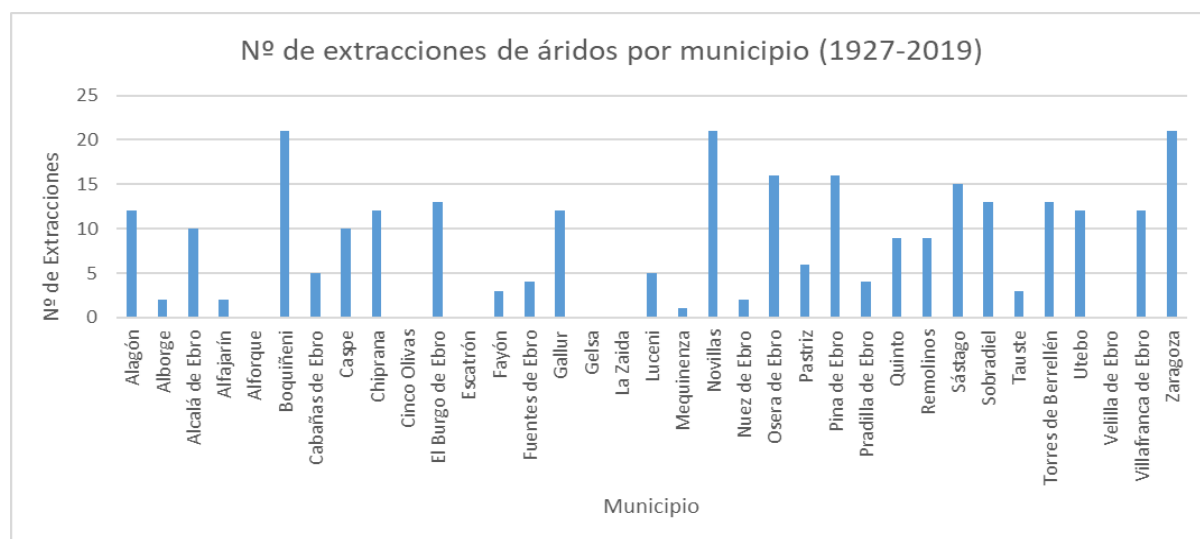


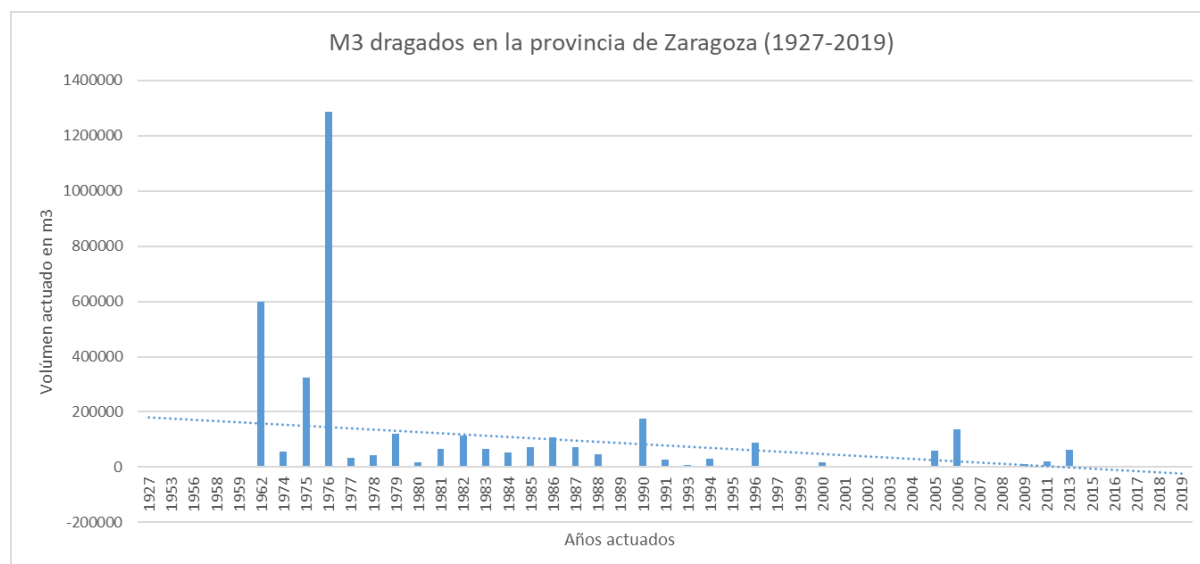
Gráfico 8. Número de extracciones de áridos por municipio (excluyendo dragados y limpiezas) (1927-2019)

Se puede observar en el gráfico 8 que los municipios con un mayor número de extracciones de áridos en este período son Boquiñeni, Novillas y Zaragoza (con 21 actuaciones totales) y, en segundo lugar, Osera de Ebro y Pina de Ebro (con 16).

3.1.5. Cantidad total de volúmenes intervenidos

Se puede echar un vistazo ahora a los volúmenes actuados para medir no el número o la frecuencia de las actuaciones fluviales, sino la magnitud de las mismas. Se comenzará este apartado con una descripción de la situación general y su evolución en el tiempo; tras esto, los municipios más dragados serán mencionados por volumen de extracción (m³), aclarando los casos más superlativos; en tercer lugar, se procederá a examinar la recurrencia las actuaciones fluviales, habrá que fijarse especialmente en los municipios que presentan una regularidad mayor; por último, se compararán los cursos medio y bajo del Ebro tanto en volumen de dragados como en número de actuaciones. Los datos manejados son los que obran en poder de la Confederación Hidrográfica del Ebro y, aunque incompletos, cubren en líneas generales el periodo comprendido entre los años de 1927 y 2019.

Tal y como puede observarse entre las gráficas 9 y 10, en el siglo XX las actuaciones fluviales han sido más frecuentes y más agresivas que en siglo actual, en el que la tendencia es claramente bajista. No obstante, incluso las acciones llevadas a cabo el siglo pasado quedan por lo general muy lejos de una media artificialmente alta que se sitúa en el umbral de los 79.547 m³ únicamente por el efecto distorsionador de dos años absolutamente extraordinarios: 1962 y 1976¹⁰.

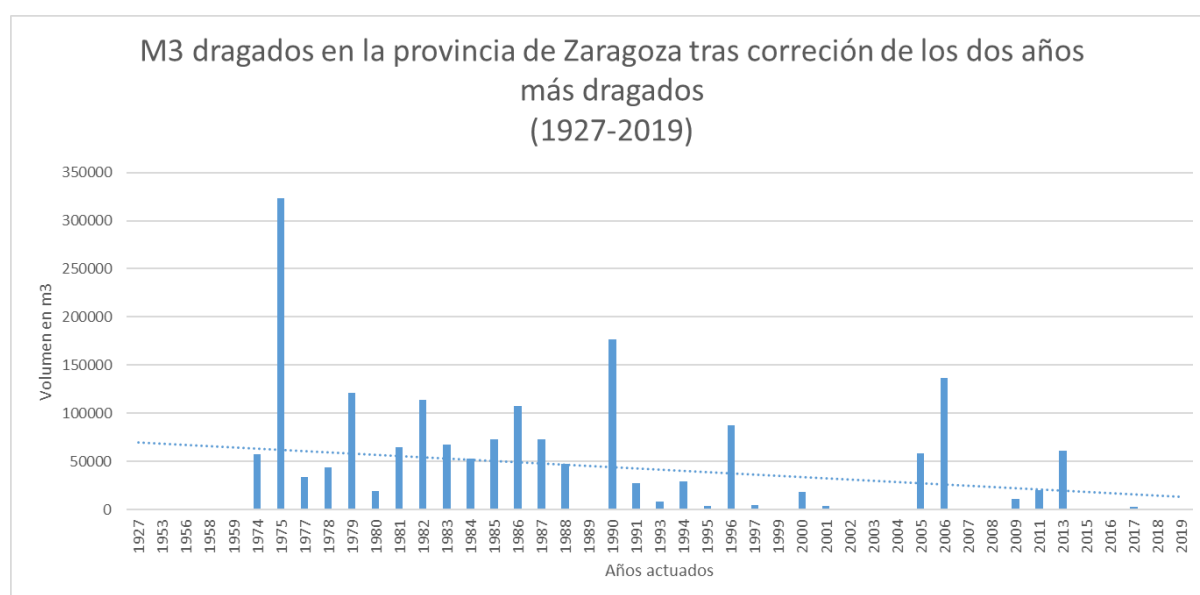


Gráfica 9. volúmenes actuados (m³) en la provincia de Zaragoza (1927-2019)

¹⁰ Los 600.000 m³ dragados en 1962 corresponden a una única actuación llevada a cabo en el salto de Ribarroja (Fayón), lugar en el que se construyó una presa que sumergió bajo las aguas el casco histórico original del municipio obligando a reubicar a sus vecinos en dos nuevos núcleos de población creados al efecto. Los 1.285.290 m³ dragados en 1976 se reparten, sin embargo, entre varios municipios en los que se realizaron actuaciones diversas.

Dentro de esta evolución general pueden distinguirse seis etapas: Un primer periodo (1927 - 1959) en el que la cantidad dragada es testimonial¹¹; un segundo periodo (1960 - 1976) de mayor actividad en el que la cantidad de metros cúbicos dragados se sitúa por primera y última vez por encima de la media global; un tercer periodo (1977 - 1996) en el que las actuaciones se suceden de forma regular, pero sin llegar ni de lejos a las cifras de la etapa anterior; un cuarto periodo (1997 - 2004) de relativa calma¹²; un quinto periodo (2005 - 2014) en el que se aprecia un pequeño repunte; y un sexto periodo (2015-2019) en el que, si bien se sabe que hubo actuaciones, los volúmenes exactos son desconocidos.

Se va a ver ahora qué pasa si los años de 1962 y 1976 son excluidos. Para empezar, la cantidad promedio de metros cúbicos dragados se reduce a casi la mitad (de 79.547 a 41.187 m³), las diferencias año a año se aprecian mejor, y la tendencia general, si bien se mantiene, se matiza en un descenso que no es ya tan abrupto como en el gráfico anterior.



Gráfica 10. volúmenes actuados en la provincia de Zaragoza excluyendo los datos mayoritarios (1927-2019)

3.1.5.1. Actuaciones por municipios

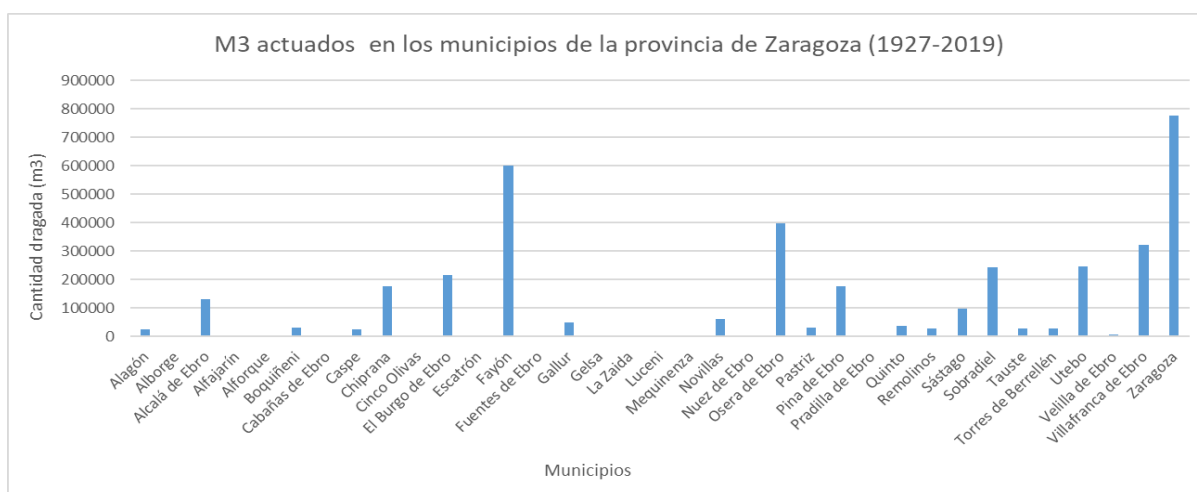
Se mostrará a continuación los municipios más dragados en el periodo comprendido entre 1927 y 2019. Tal y como puede observarse en la gráfica 11, el municipio con mayor cantidad actuada es Zaragoza -resultado hasta cierto punto esperable habida cuenta de lo extenso de su término, que incluye a poblaciones menores como Alfocea o Monzalbarba-, con 775.569 m³ dragados. Sorprendentemente, el segundo municipio más actuado es Fayón, una pequeña localidad cuyo término municipal es diez veces más pequeño que el de la capital aragonesa, y que sin embargo es responsable por sí mismo de la remoción de 600.000 m³ a la altura del salto de la Ribarroja.

¹¹ Téngase no obstante en cuenta que los registros de la primera mitad del siglo XX son incompletos y que, en algunos años, tenemos registrado el número de actuaciones, pero no el volumen total de sedimentos retirados.

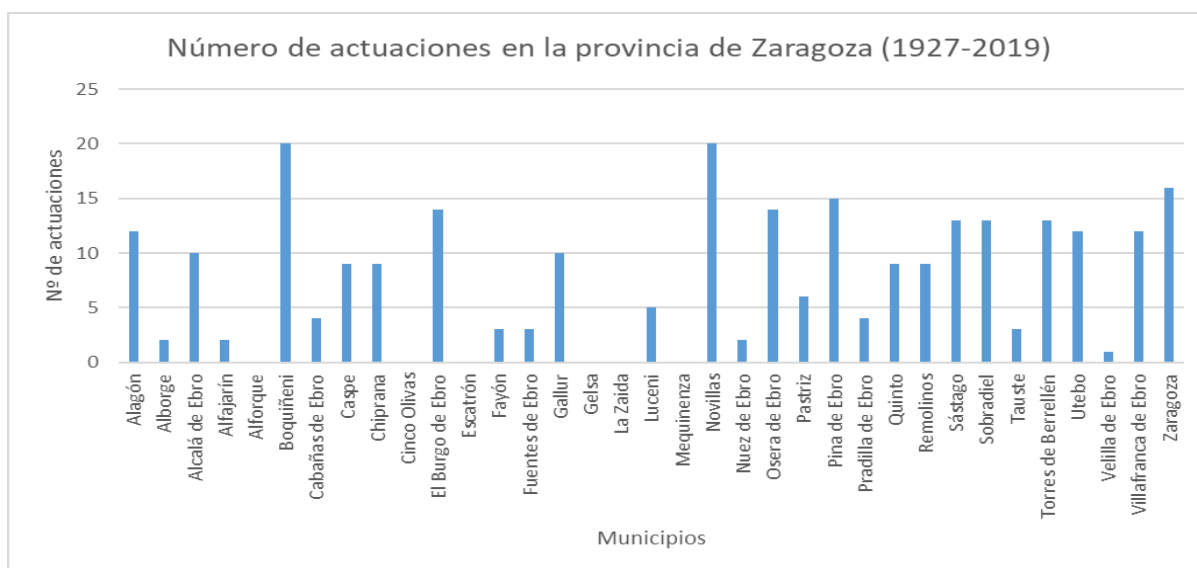
¹² Tampoco en este periodo se tienen registros sistemáticos del total de metros cúbicos dragados.

Si se analiza la regularidad de las actuaciones fluviales en los municipios de la provincia de Zaragoza. Tal y como se aprecia en la gráfica 12, Novillas y Boquiñeni son los municipios en los que más veces se ha actuado (veinte en cada caso), seguidos de Zaragoza (dieciséis actuaciones) y Pina de Ebro (quince actuaciones).

Al contrastar estos datos con los de la gráfica anterior: Sorprendentemente, Novillas y Boquiñeni, en cuyos términos las actuaciones han sido más numerosas, quedan sin embargo muy lejos de ser los municipios de los que más metros cúbicos se han extraído, en tanto que Fayón, localidad en la que sólo se ha actuado una vez, es por contra la segunda de la lista cuando lo que se mira es el total de sedimentos dragados. Más esperables son resultados Zaragoza y Pina de Ebro, municipios ambos intensamente actuados tanto si miramos a la frecuencia como a la masa actuada.



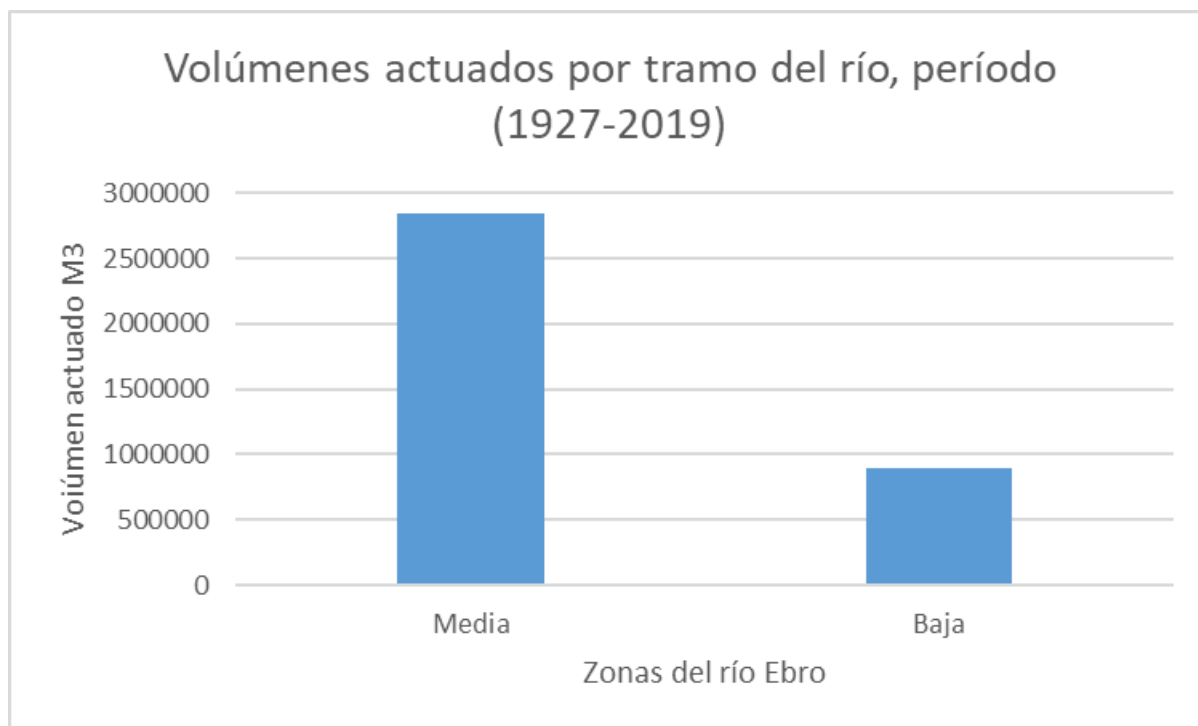
Gráfica 11. Volúmenes actuados por municipio de la provincia de Zaragoza (1927-2019)



Gráfica 12. Número de actuaciones por municipio en la provincia de Zaragoza (1927-2019)

3.1.5.2. Actuaciones por tramo

Para finalizar, Se procede a estudiar los tramos medio y bajo del Ebro a su paso por la provincia de Zaragoza por ser dos zonas de diferente morfología. Los resultados son los siguientes:



Gráfica 13. Volúmenes actuados por curso del río (véase el área de estudio o figura 1) (1927-2019)

Tal y como se puede ver en la gráfica 13, el volumen actuado es muy superior en el curso medio del río (tramo Novillas - La Zaida), donde la suma individual de todos sus municipios alcanza los 2.841.008 m³. Por el contrario, en el curso bajo del Ebro (tramo Alforque - Fayón) la cantidad de metros cúbicos actuados es más modesta, dando una cifra total de 897.735 (de los cuales 600.000 proceden de un único proyecto: el salto de la Ribarroja). Semejante disparidad responde a la diferente orografía de ambas zonas: en el curso medio la pendiente natural del terreno es sumamente baja y el río tiende a meandrizarse, constantemente amenazando a unos municipios que, situados a su vera, intentan defenderse dragando su cauce.

En el curso medio, por el contrario, el río circula más encajado, y los municipios por los que pasa se encuentran más protegidos de sus avenidas. Lo mismo sucede con el número de actuaciones: En el tramo medio se ha actuado en más de doscientas ocasiones, en tanto que en la zona baja estas actuaciones no llegan a cincuenta.

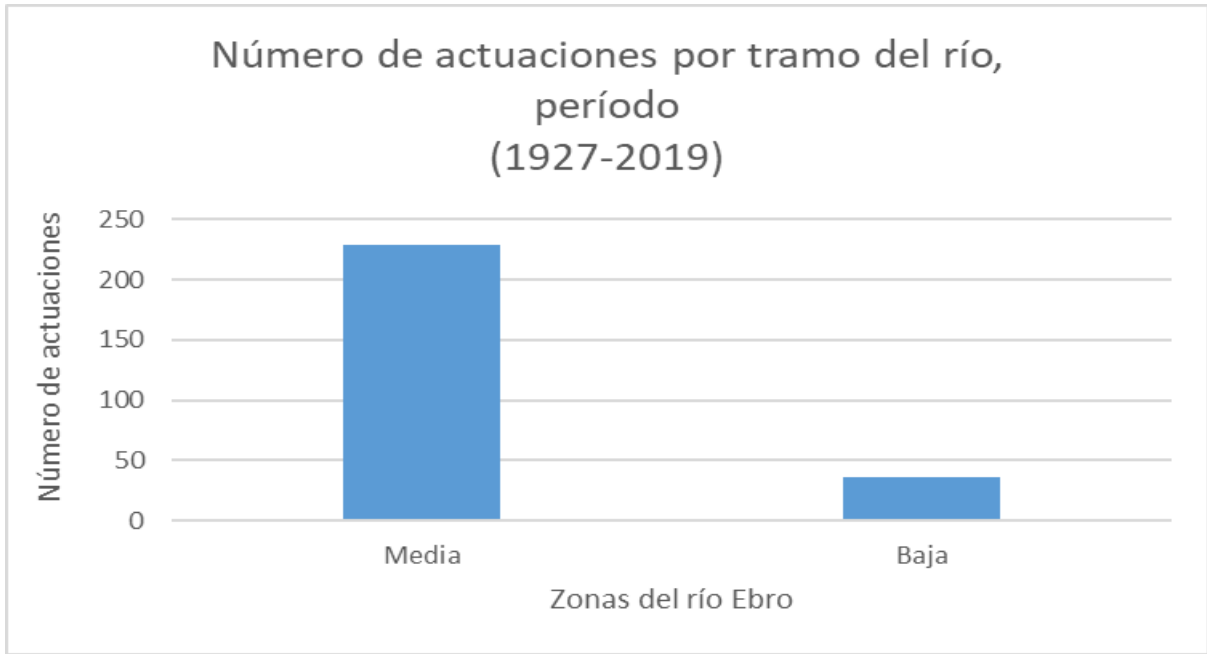


Gráfico 14. Número de actuaciones por curso del río (véase el área de estudio o figura 1) (1927-2019)

3.2. Evolución de las zonas dragadas

Tal y como se ha visto en el apartado anterior, el curso medio del Ebro es una zona especialmente sensible cuyas localidades son frecuentemente afectadas por riadas e inundaciones. Por ello, va a procederse a estudiar la evolución de varias intervenciones de dragado llevadas a cabo en diferentes municipios de la comarca de la Ribera Alta del Ebro.

3.2.1. Gallur

Uno de estos municipios es Gallur, localidad de la que se han estudiado dos zonas, ambas próximas a los principales puentes sobre el río Ebro de la localidad: el puente del campo de fútbol y el de la carretera de Tauste.

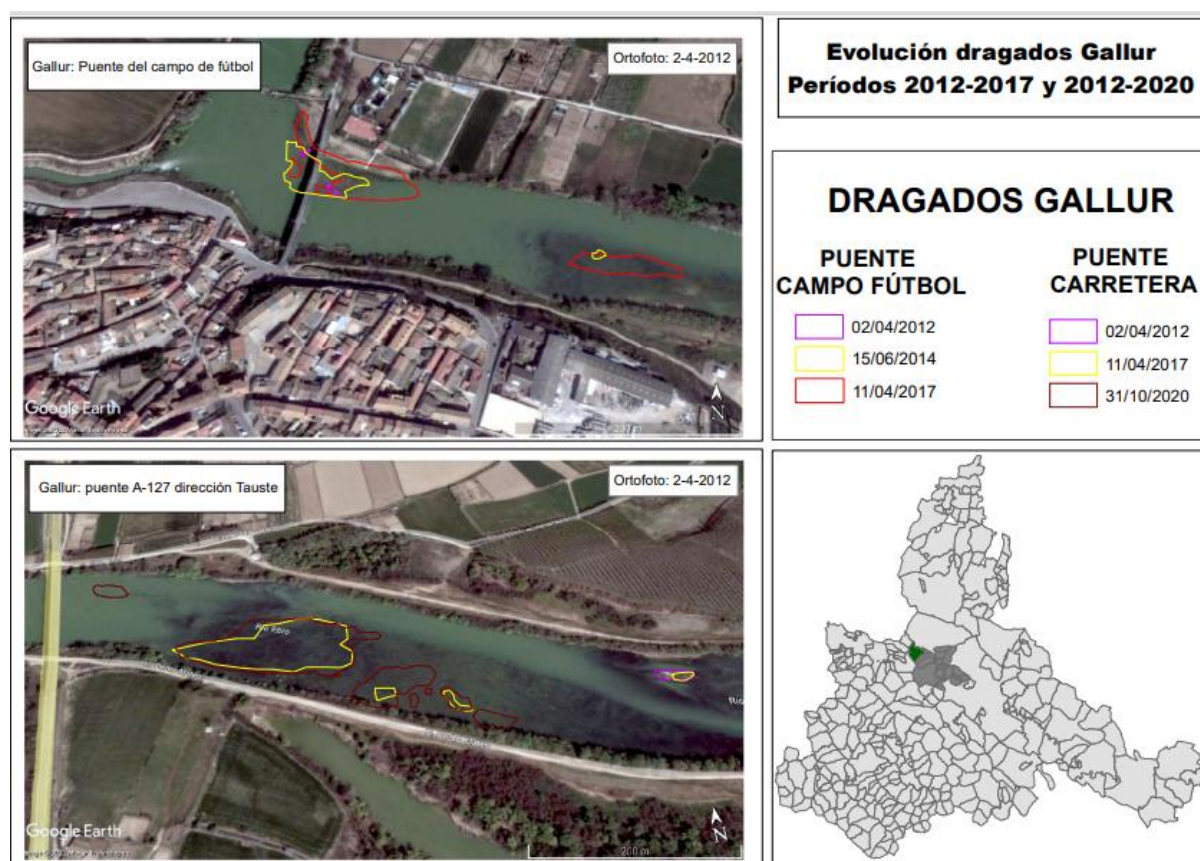


Figura 5. Evolución de zonas dragadas en Gallur (2012-2017 y 2012-2020)

La evolución de las intervenciones fluviales llevadas a cabo en las cercanías del primer puente mencionado (el del campo de fútbol) ha sido estudiada mediante ortofotos de Google Earth tomadas los días 2/4/2012, 15/6/2014 y 11/4/2017, fechas en las que, siendo el nivel del flujo muy similar, la altura máxima de los sedimentos acumulados es, por el contrario, marcadamente diferente. Así, en las fotos tomadas en el año 2012 las barras son casi inexistentes, y lo único que puede apreciarse con claridad debajo del propio puente es una pequeña playa fluvial.

En el año 2014, sin embargo, la mencionada playa ha crecido, y comienza a apreciarse, además, la existencia de una barra fluvial aguas abajo del puente.

Para 2017 tanto la playa como la barra están en su máximo apogeo, superando la altura de flujo en 40 cm el caudal registrado en 2012.

Se examina a continuación el segundo puente de Gallur (el de la Carretera de Tauste), caso en el que el dragado ha afectado a una zona un poco mayor que en el ejemplo anterior. Las imágenes escogidas para analizar este segundo puente son de los años 2012¹³ (02/04/2012), 2017 (11/04/2017), y 2020 (31/10/2020). En 2012 apenas hay rastro de una pequeña barra, testimonio residual del dragado llevado a cabo dos años antes. En 2017, sin embargo, son varias las barras que han aparecido en el tramo estudiado, y eso sin que hayan hecho falta para formarlas grandes avenidas extraordinarias, pues no las hubo; bastaron tres crecidas relativamente ordinarias y de relativamente poco calado para revertir el estado del cauce a la situación de partida previa al dragado de 2010. Por último, las fotografías tomadas en 2020 muestran que las barras se han estabilizado, apareciendo en ellas vegetación y convirtiéndose algunas en playas fluviales pegadas a la orilla.

3.2.2. Cabañas de Ebro

Municipio de la Ribera Alta del Ebro próximo a Alagón, Cabañas permite ver la evolución de dos playas fluviales: la primera, situada aguas abajo del pueblo, fue dragada en el año 2010; la segunda, situada aguas arriba, fue igualmente intervenida en el año 2010, en este caso para desbrozar la vegetación que en ella se había instalado.

¹³ No todas las zonas de un mismo cauce fluvial son afectadas de igual manera por un nivel de altura de flujo dado, y no todas las zonas tienen la misma capacidad de recuperar el sedimento. Por ello, para este segundo ejemplo no se ha escogido el año 2014, sino el 2012.

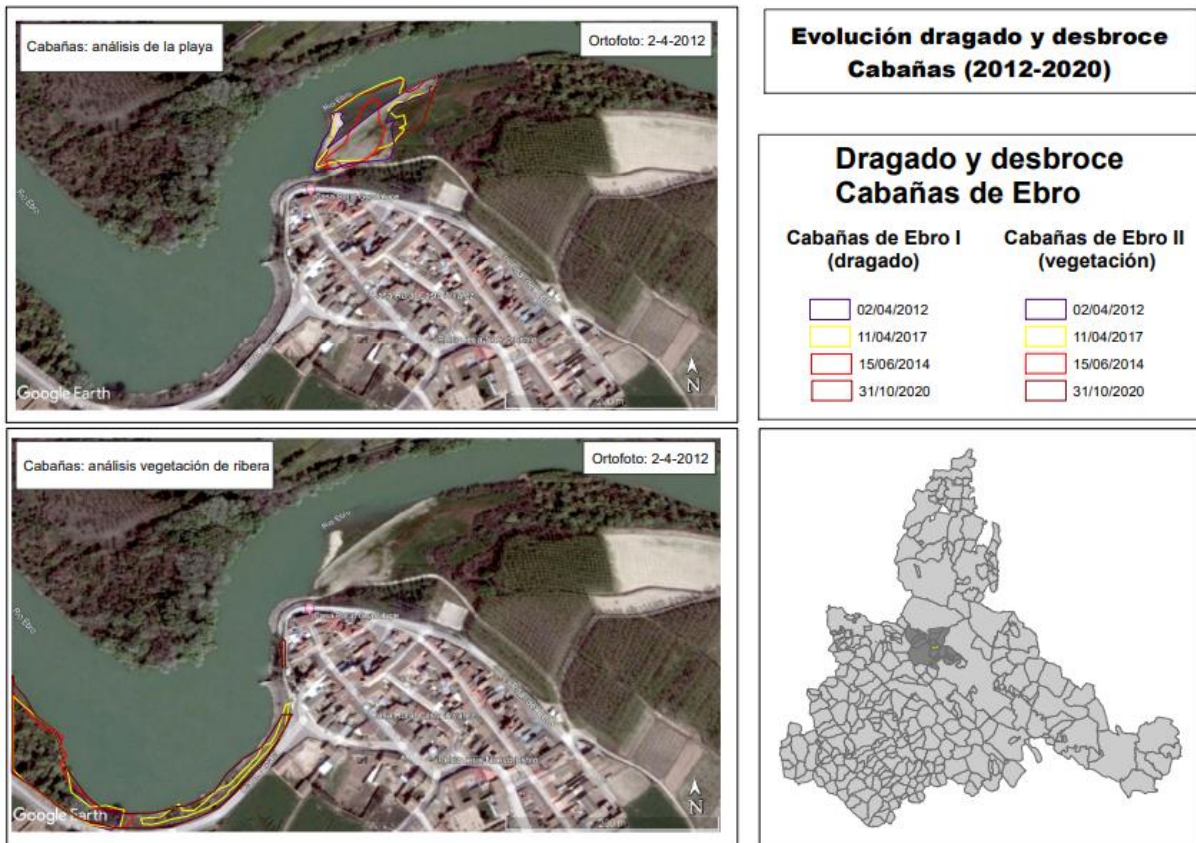


Figura 6. Evolución de zonas dragadas y desbrozadas en Cabañas de Ebro (2012-2020)

En el año 2012 (02/04/2012), dos años después de las actuaciones de dragado y limpieza del cauce, ambas playas parecen haber cambiado muy poco, observándose perfectamente las zonas dragadas aguas abajo del municipio y los terrenos desbrozados aguas arriba del mismo.

En junio de 2014 (15/06/2014) el nivel de altura del flujo ha crecido, la zona dragada se ha ido recuperando, y la playa en la que se habían realizado los desbrozos está empezando a mostrar vegetación de ribera.

En abril de 2017 (11/04/2017) la barra situada aguas abajo de Cabañas de Ebro se ha ido recuperando, registrando una altura de flujo notablemente superior, en tanto que en la playa situada aguas arriba el crecimiento de la vegetación es nítidamente apreciable. Finalmente, para octubre de 2020 la playa dragada aguas abajo comienza a presentar vegetación (indicador claro de que la zona se está estabilizando); vegetación que se ha apoderado definitivamente de la playa situada aguas arriba.

En la playa aguas arriba de Cabañas se ve cómo la vegetación se ha apoderado de la misma, es más, se ve cómo se está regularizando y puede actuar de barrera protectora para el pueblo, ya que está situado en una zona que en una inundación se recibiría directamente el flujo y la vegetación puede actuar de esponja.

En líneas generales, tanto la playa del pueblo como la zona de vegetación de ribera que ha sido limpiada han ido recuperándose con mucha rapidez, la playa más rápido que la vegetación de ribera de aguas arriba.

3.3. Curages en la provincia de Zaragoza

De unos años a esta parte se ha comenzado a trabajar en una medida alternativa a los dragados consistente no en la extracción de sedimentos sino en su descompactación, de manera que, ante una eventual crecida, el exceso de flujo sea redirigido y ralentizado por estas sendas de artificial menor resistencia. Promovidos, monitorizados y mantenidos por la Confederación Hidrográfica del Ebro, muy pocas son de momento las publicaciones académicas que los han estudiado (Moral, 2021)¹⁴.

En este apartado van a estudiarse los *curages* de la provincia de Zaragoza, parametrizados en función de su longitud y área. En lo tocante a la longitud, medida en kilómetros, tres categorías han sido creadas: *curages* de pequeña longitud (de 0 a 1,5 km), *curages* de longitud media (de 1,5 a 3 km), y *curages* de gran longitud (más de 3 km). Por su parte, en lo que refiere a la superficie, computada en este caso en hectáreas, se han hecho igualmente tres rangos diferentes: *curages* de pequeña entidad (de 0 a 1,75 ha), *curages* de entidad media (de 1,75 a 3,25 ha), y *curages* de gran entidad (más de 3,25 ha).

3.3.1. Curages de la provincia de Zaragoza ordenados en función de su longitud

De los dieciocho *curages* localizados en la provincia de Zaragoza, siete son de pequeña longitud, ocho de longitud media, y sólo tres de gran longitud. Los primeros se sitúan en Novillas (en la *Mejana del Lobo* y en *Los Anchos*, de 1,02 km y 0,63 km respectivamente), en Torres de Berrellén (0,31 km), en una isla en medio del propio río Ebro a su paso por Sobradriel (1,45 km), en el puente de la Z-40 (0,67 km), en la Cartuja (0,88 km), y en Pina de Ebro (en el lugar conocido como *Belloque*, de 1,37 km). Por su parte, los *curages* de longitud media (los más habituales) se emplazan en Alcalá de Ebro (1,55 km), Boquiñeni (1,84 km), Sobradriel (1,85 km), Utebo (1,93 km), Utebo-Zaragoza (2,1 km), Fuentes de Ebro - Pina de Ebro (2,12 km), en un soto de Alfocea (2,32 km), y en Alfocea - Monzalbarba (2,54 km). Finalmente, los tres *curages* de gran longitud se ubican en Alagón (3,02 km), Pina de Ebro (3,43 km) y en la *Mejana* de Sobradriel (4,68 km).

3.3.2. Curages de la provincia de Zaragoza ordenados en función de su superficie

De los dieciocho *curages* que hay localizados, siete son de pequeña entidad, siete de mediana entidad y cuatro de gran envergadura. Forman parte de los primeros los de Novillas (*Los Anchos* y *La Mejana del Lobo*), Boquiñeni, Torres de Berrellén, el de la isla del Ebro a su paso por Sobradriel, el de La Cartuja, y el de Pina de Ebro (*Belloque*). Los *curages* de porte medio, por su parte, se concentran mayoritariamente aguas arriba de Zaragoza, repartidos entre la Ribera Alta del Ebro (*curages* de Alcalá de Ebro y Sobradriel) y la Comarca Central

¹⁴ Existe, sin embargo, un proyecto de investigación en curso. Véase al efecto: Cuartero, N.; Moral, R.; Ollero, A.; Pirchi, V. N.; Evaluación Hidromorfológica tras la Aplicación de la Técnica "Curage" en el Curso Medio del Ebro.

(Utebo I y Utebo II, Alfocea - Monzalbarba, y en el soto de Alfocea); excepción a la norma es el *curage* de Fuentes de Ebro - Pina de Ebro, ubicado aguas abajo de Zaragoza en la comarca de la Ribera Baja del Ebro. Por último, los cuatro *curages* de área mayor son los de Alagón (la *Mejana del Tormo*), Sobradriel (la *Mejana del Tambor*), Zaragoza - Z40, y Pina de Ebro.

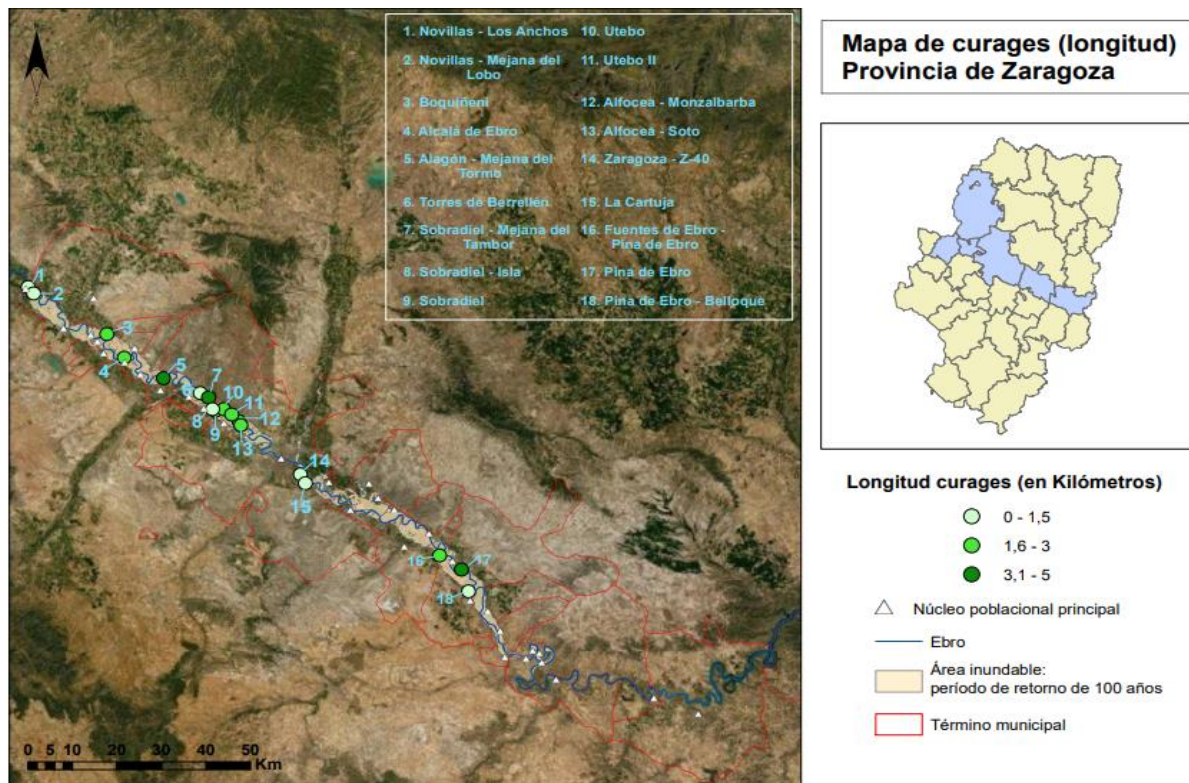


Figura 7. Localización y longitud de curages en la provincia de zaragoza

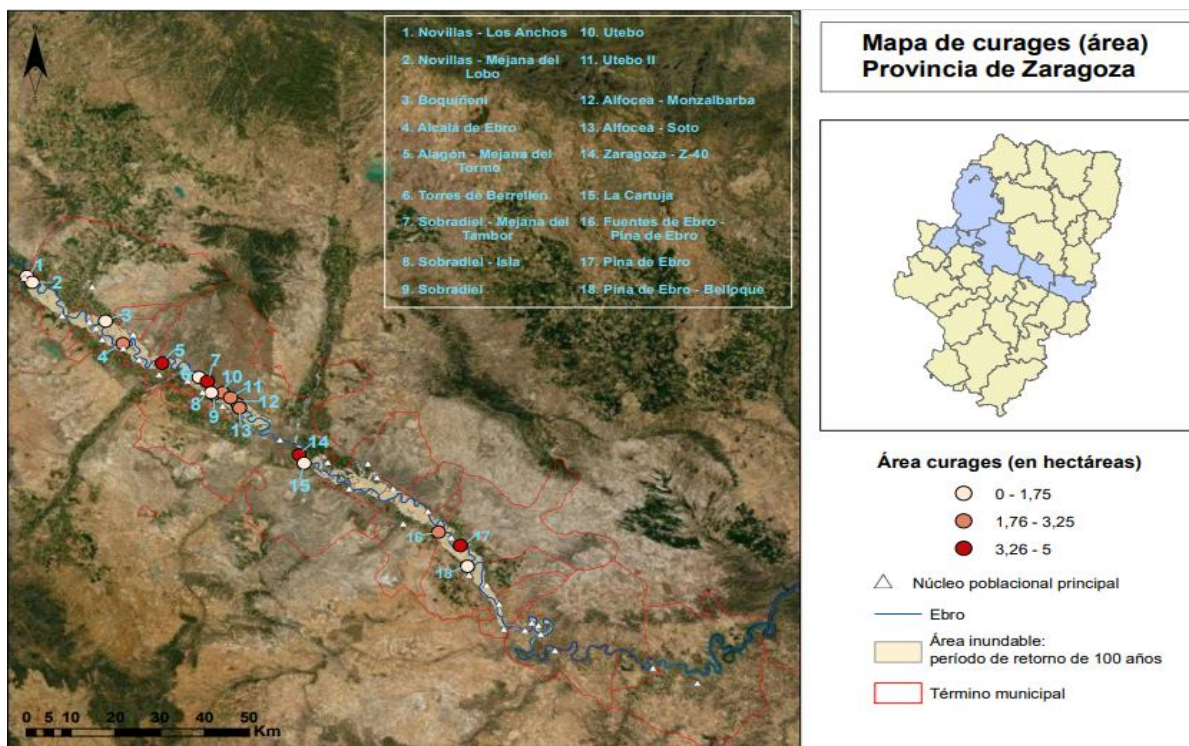


Figura 8. Localización y área de curages en la provincia de Zaragoza

3.4. Síntesis de los resultados

Los ríos mediterráneos son ríos irregulares. En verano, lo normal es que circulen casi secos, pero durante la estación de las lluvias no hay planicie mediterránea que no se halle bajo la amenaza cierta de una inundación violenta y repentina.

El Ebro es un río mediterráneo inusual tanto por su longitud como por su caudal, pero es aun así irregular, inconstante y estacional como todos los ríos que directa o indirectamente vierten sus aguas al mar Mediterráneo. Las riadas son, por lo tanto, un riesgo inherente a la convivencia con el Ebro, riesgo agravado en su tramo medio por la poca pendiente natural del terreno y un sustrato litológico compuesto por materiales blandos. Todo esto se puede saber por lo que dicen las fuentes históricas, y por la historia que cuentan los paleocauces que el río ha ido abandonando a su paso por Aragón; también porque la mayoría de los núcleos urbanos ribereños se sitúan a una distancia prudencial del agua¹⁵, y porque ya en época del Imperio Romano Zaragoza tuvo que ser protegida del poder destructor de las aguas recreciendo artificialmente el terreno sobre el cual se asentaba.

Actualmente, la Confederación Hidrográfica del Ebro tiene un histórico de datos que se remonta a las primeras décadas del siglo XX y que, aunque es incompleto, permite hacerse una idea de cómo se ha enfocado la convivencia con el río a lo largo del último siglo. En efecto, parece que la manera de convivir con el Ebro y con sus riesgos ha cambiado con el tiempo: durante la primera mitad del siglo XX predomina la no intervención, dejando al río su espacio; hacia los años sesenta, por el contrario, las actuaciones se vuelven más agresivas, buscando proteger una llanura aluvial cada vez más antropizada; finalmente, hacia los años noventa la tendencia se invierte de nuevo, y las actuaciones comienzan a ser menos ambiciosas y menos frecuentes, anunciando el cambio de paradigma en el que nos encontramos en la actualidad.

En líneas generales, parece que las limpiezas de cauces van en aumento, las extracciones de áridos en descenso, y los dragados se mantienen como una de las medidas más populares. No obstante, si se mira a los municipios más veces dragados se puede comprobar que no coinciden con aquellos en los que se ha retirado una mayor cantidad de sedimentos¹⁶, lo que hace cuestionarse si la medida es verdaderamente eficaz. Los resultados obtenidos en el presente trabajo apuntan a que no; a que las extracciones de áridos y los dragados consiguen profundizar muy poco en la coraza fluvial y no logran, por lo tanto, los pretendidos objetivos de ahondamiento del cauce y encajonamiento del río.

¿Con qué frecuencia debería dragarse el río de querer continuar como hasta ahora? Las zonas estudiadas mediante ortofotos (Gallur y Cabañas de Ebro) muestran que, tras una intervención estándar, los lugares actuados vuelven a su estado original transcurridos unos diez años, a veces menos. Cien años es el periodo de retorno de frecuencia media de las avenidas extraordinarias del río Ebro, por lo que, de querer basar su estrategia gestora en el

¹⁵ Excepción a la norma son Novillas, Gallur, Remolinos, Torres de Berrellén, Utebo, Pastriz, Alfajarín, Gelsa, Velilla de Ebro, Osera de Ebro, Boquiñeni, Pradilla de Ebro, Alcalá de Ebro, Cabañas de Ebro y Nuez, así como la propia ciudad de Zaragoza. La proximidad al río de sus cascos urbanos hace que, en caso de desbordamiento, los riesgos para la población sean más altos que en el resto de municipios ribereños.

¹⁶ Exceptuando Pina de Ebro y la propia Zaragoza.

dragado de cauces, no se podría saber con certeza la periodicidad de las actuaciones ¿Tiene la Confederación Hidrográfica del Ebro la capacidad operativa necesaria para dragar sistemáticamente todo el curso medio del río¹⁷? ¿Es siquiera deseable que así sea?

Los dragados son una medida técnica. Nacen, al igual que los pantanos, los trasvases, o las extracciones de áridos, como la solución técnica de una época muy concreta a un problema que siempre ha estado ahí. De unos años a esta parte, sin embargo, asistimos a un cambio de paradigma que aboga por una naturalización de los ríos y que, en el caso del río estudiado, se ha plasmado en la estrategia *Ebro Resilience*. De la mano de este nuevo paradigma han llegado nuevas medidas técnicas, como es el caso de los *curages*.

Posible alternativa -o como mínimo, complemento- a los dragados tradicionales, los *curages* son cauces de desagüe diseñados para entrar en acción sólo cuando el nivel del agua alcanza un determinado punto. De este modo, permanecen más o menos aislados del funcionamiento normal del río, siendo su mantenimiento mínimo. Además, de existir paleocauces abandonados, los *curages* pueden reconectarlos con el cauce activo en la actualidad, creando así un canal natural; un segundo río, si se quiere, cuya capacidad de desagüe teórica es muy superior a la que podría conseguirse con un dragado tradicional.

Así y todo, este cambio de paradigma está contando, de momento, con la oposición frontal de los vecinos de los municipios estudiados, partidarios de continuar con los dragados tradicionales. Su posición es entendible.

Los nuevos métodos han llegado a la ribera del Ebro en época muy reciente, y aunque han sido implementados con éxito en otros lugares (razón por la cual se quieren implementar ahora en Aragón), su eficacia no ha sido todavía demostrada en el territorio que ellos habitan. Debe recordarse, sin embargo, que los *curages* son una solución técnica, igual que lo fueron en su día los dragados; que los *curages* son, en este caso, una técnica respaldada por la comunidad científica internacional; y que, como solución técnica que son, los *curages* serán abandonados en favor de los dragados si al final resultan funcionar peor que éstos.

Dado que las nuevas medidas cuentan, de momento, con la oposición de los habitantes del territorio, y que las viejas medidas cuentan con la oposición de los investigadores, quizás debería estudiarse una mejor comunicación entre residentes, gestores e investigadores. La bibliografía académica publicada sobre las nuevas medidas en Aragón es todavía escasa, tirando a inexistente, pero cuando empiece a haberla, será necesario un esfuerzo colectivo por llevarla, más allá de los canales de comunicación académica al uso, al territorio mismo. Pero esa es una cuestión que debe dejarse para el siguiente apartado.

¹⁷ Como se ha visto en apartados anteriores, las intervenciones en el río Ebro se concentran mayoritariamente en su tramo medio, superando a las de su tramo inferior en una proporción de tres a una.

4. Discusión

4.1 Referencias bibliográficas y su relación con el río Ebro

En el estudio de Gallego et al. (2016), se trató de aplicar la modificación de la fórmula de Manning en un río seco de Murcia (canteras). Esta aplicación tenía como objetivo analizar las consecuencias de un dragado, para lo que se simularon distintos escenarios con distintos valores de Manning durante una crecida en esta rambla, ya que se medían las características de la riada al reducir o aumentar el índice de Manning (rugosidad) el porcentaje de dragado.

La rugosidad (parámetro medido en el trabajo citado) es la resistencia de un flujo en un canal, es decir, cuanto mayor sea la rugosidad, con mayor lentitud correrá por el mismo.

Por ello, su simulación dejó resultados muy interesantes: el primero es que, al disminuir el valor resultante en la fórmula de Manning en las simulaciones (significando en mayor velocidad del flujo), la riada tuvo mayor velocidad y mayor pico de caudal, aunque el tiempo de desagüe fue menor. En las simulaciones con un mayor valor, la riada tuvo mayor duración, pero el caudal punta fue menor y se laminó mejor la riada.

Al medirse los distintos valores de rugosidad, se pudo ver que había cambios significativos cuando el valor de rugosidad ascendía a partir de 0,1 n.

Se pueden ver los resultados de las simulaciones:

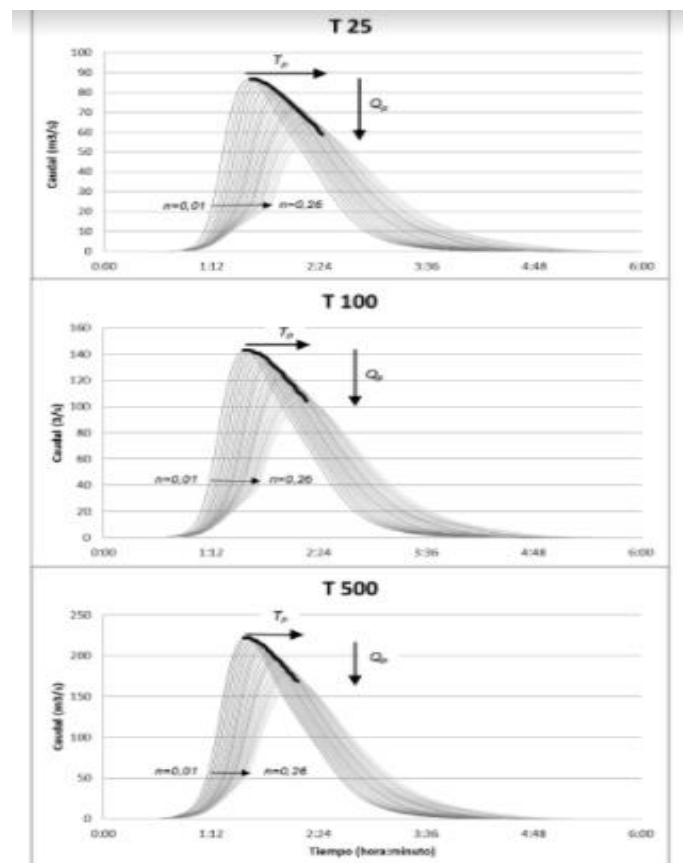


Gráfico 15. Extracción de gráfico sobre simulaciones de riada en (Gallego et al., 2016)

Comentando el gráfico, se pueden ver los caudales punta de cada simulación (Q_p), cada línea es una simulación con un valor de Manning diferente. Las situadas más a la izquierda son las simulaciones con menor valor de rugosidad y se muestra que el caudal punta es mayor en las simulaciones que coinciden con las situadas a la izquierda, pero también son las que se suceden más rápido. Por ello se muestra que cuanto mayor resistencia tenga el flujo (es decir, mayor cantidad de gravas o elementos biológicos), menor caudal punta y mayor laminación.

Se puede constatar en los gráficos extraídos del trabajo mencionado, que los caudales pico son de menor entidad conforme la resistencia es mayor (siendo una relación inversa, mayor resistencia menor caudal pico), tal y como menciona Gallego et al. (2016) ***“Los resultados obtenidos de las simulaciones indican que cuanto menor es la resistencia al flujo, es decir menos obstáculos existen en los cauces, mucho mayor es el caudal pico de la onda de avenida, al acumularse más rápido los caudales en la parte final de la rambla, lo que agravaría la inundación en esta zona”***.

También se puede mencionar que cuanto más limpios estén los cauces, se puede dar en mayor medida la erosión, ya que pueden aparecer fenómenos de aguas limpias y al haber mayor erosión en los bordes de los cauces, hay mayor peligrosidad. Además, el problema se puede trasladar a aguas abajo, donde puede ser más peligroso al trasladar el problema a zonas en las que existan otros condicionantes.

El problema de la erosión es que al erosionarse los bordes no sólo hay mayor peligro de desprendimientos, sino que los ríos pueden aprovechar estas zonas para desbordar generando entonces mayores inundaciones.

En otros estudios como el de **Chasco (2020)** se vieron las consecuencias de los dragados con la modificación del valor de rugosidad de Manning con simulaciones en varios cursos fluviales.

Los dos ríos tenían características diferentes, mientras uno se caracteriza por tener una alta pendiente y un caudal más o menos permanente, el otro tenía una pendiente más bien escasa y un caudal intermitente.

En las simulaciones realizadas en el primer río, se quería comprobar cómo los dragados afectan en las crecidas de un río con alto potencial erosivo, mientras que en el segundo caso se quería comprobar cómo los dragados afectarían a un río con bajo potencial erosivo y con una pendiente escasa.

También se realizaron las modificaciones en la fórmula de Manning en diversos tramos de los dos ríos, en el curso alto, medio y bajo y los resultados fueron los siguientes:

En ambos ríos los dragados en los tramos bajos se manifestaron en un mayor caudal punta en las riadas, además de un aumento de la velocidad del flujo de agua; no sólo eso, sino que en los dragados en los cuales se enlazaban el tramo medio y bajo de limpieza, los efectos fueron mucho más acentuados y el caudal punta y velocidad fueron mayores.

Comenzando por los efectos de los dragados en el curso “lento”, se pudo comprobar que cuanto menor rugosidad (mayor cantidad de retirada de sedimentos), mayor era la velocidad y el caudal punta, de manera que el caudal punta llegó a resultar 4 veces superior que en el mismo tramo con un mayor valor de rugosidad de Manning. Este ejemplo sería el más cercano al río Ebro, ya que es un río con muy baja pendiente y que tiene menor potencial erosivo, resultando en un efecto contrario de lo que se pretende con la actuación fluvial. No sólo tuvo efectos con el flujo, sino que generó una mayor erosión y rotura de los bordes, causando mayores desbordamientos y en una mayor destructividad.

En el río de tramo rápido (pirenaico), los efectos del dragado no fueron tan acentuados, pero también se dejaron notar; además, la erosión se potenció en mayor grado del que de por sí el río tenía.

Otros estudios, como el de **Stepien (2019)**, analizaron los efectos de la limpieza de cauces en el componente biológico, ya que el río es un sistema con vida propia y con su propio ecosistema. La extracción de parte del lecho fluvial puede afectar al ecosistema fluvial, ya que las especies como las vegetales son parte de la fuente de sustento de las especies que viven en el río.

Por ello, este autor realizó un estudio en un río polaco que fue dragado e intentó comprobar si afectaba a las especies de la zona, y los resultados fueron los siguientes:

Se constató que después del dragado el número de especies del río descendió, mientras que el número de especies vegetales de las zonas próximas del río ascendió, además, el tipo de plantas vasculares de la zona fue diferente y se mostraban muchas diferencias.

Se mostró como consecuencia directa en los primeros años un aumento de especies alóctonas y que en los años posteriores las especies autóctonas fueron recuperándose.

Se muestran las mayores diferencias entre los años 2008 y 2009 (dragado en 2008).

En esta zona se mostraron resultados diferentes a otras áreas y muestra que los efectos del dragado no son siempre iguales y depende de la zona en la que se hagan.

También se mostró en el estudio que las especies que se sustentan sobre los sedimentos/gravas desaparecieron de la zona y no se recuperaron hasta pasado un tiempo en el que se recuperaron los sedimentos del lecho fluvial.

Este estudio se podría aplicar en un estudio futuro en el río Ebro para comprobar si se observan resultados parecidos, pero, indudablemente, al retirar la coraza del lecho, se conseguirá un detrimento en esa zona de las especies que se benefician de los materiales retirados, consiguiendo roturas de las cadenas tróficas.

El dragado puede encajar o incidir el cauce y generar un mayor riesgo cuando se presentan crecidas. En un estudio de **Gob et al (2005)** se estudió un río belga de la región de las Ardenas con el fin de observar las consecuencias de un dragado masivo en dicho río.

Esta campaña resultó a la larga en el ensanchamiento de 1 kilómetro del cauce y el horadamiento de 2 metros, teniendo posibles consecuencias para la población que viviera pegada al margen del río.

Este río (Semois) tiene aspectos en común con el tramo medio del río Ebro. El Semois y este tramo medio del río Ebro tienen una pendiente escasa y, además, presenta un estilo meandriforme (como la del Ebro desde La Rioja a Cataluña).

Esto implica que en algunos tramos el río Ebro se puede ir encajando debido al menor arrastre de sedimentos que puede llevar, lo que también conlleva una modificación de la zona inundable en áreas con actividades económicas o poblaciones, aumentando su peligrosidad y riesgo de inundación.

En resumen, una actuación de dragado puede generar un efecto negativo para las poblaciones ribereñas del curso medio del Ebro, aunque todos los ríos tienen sus características únicas, hay factores que pueden ser similares y, predeciblemente, tengan un comportamiento parecido.

Los resultados concluyeron en que se pueden generar encajamientos en algunas zonas (ver figura de abajo).

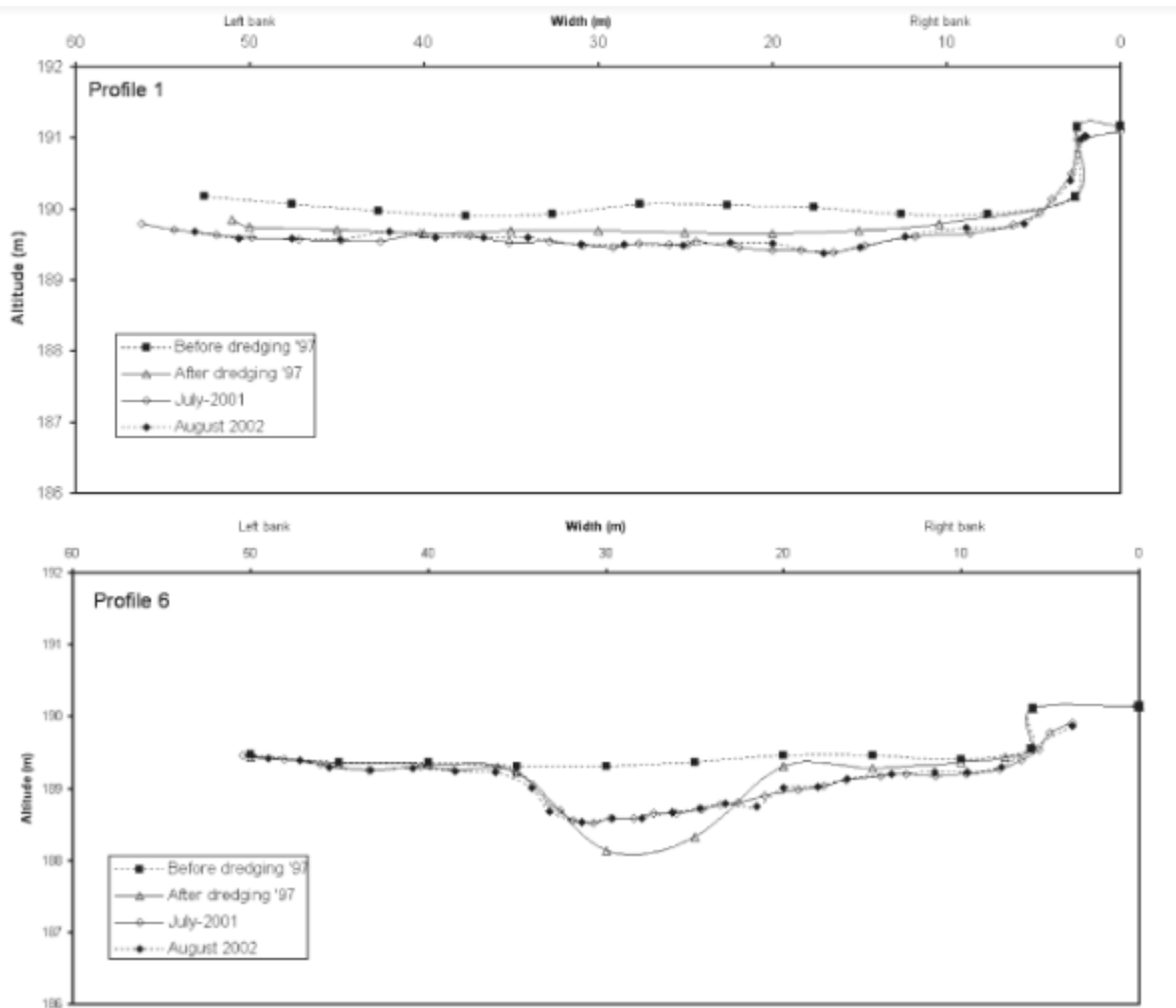


Gráfico 16. Extracción de la evolución del lecho fluvial tras dragado en el río Semois de (Gob et al_ 2005)

En el primer análisis bankfull se vio que no hubo encajamiento, pero en el sexto sí.

La actuación de los dragados se vio como solución provisional al problema de las riadas, inefectiva hidrológicamente, ya que la reducción del nivel del agua en una riada es mínima. El estudio también nombra que estas consecuencias se dieron en un terreno que tiene menores consecuencias que en los ríos del sur de Europa, ya que los ríos del mediterráneo transportan mayor cantidad de sedimentos al pasar por terrenos que son más fáciles de erosionar (lo cual significa mayor probabilidad de erosión e incisión y mayor velocidad de relleno de sedimentos).

Al relacionarlo con el Río Ebro se conseguiría un análisis más o menos cercano que mostrará las consecuencias mínimas tras la actuación de un gran dragado.

Tal y como se ha mencionado al principio, también se va a hablar de otro tipo de actuaciones fluviales, en este caso se va a nombrar y estudiar la actuación fluvial más popular y extendida: los embalses.

Los embalses han tenido numerosos beneficios en cuanto a la disponibilidad de agua para el uso humano, y además sus defensores alegan que sirven para la laminación de crecidas, aunque lo cierto es que no sirven en todas las crecidas, sino en las de menor entidad. Además, pueden resultar perjudiciales, ya que al impedir que se sucedan las crecidas de menor entidad, resulta en una menor repartición de sedimentos por régimen natural del río y en una mayor velocidad, cantidad y peligrosidad del flujo, además de dañar considerablemente el funcionamiento geomorfológico del sistema fluvial.

En un estudio de **Kondolf (1997)**, se estudiaron las consecuencias menos visibles (popularmente hablando) de los embalses y fueron muy interesantes:

En primer lugar, los embalses impiden el movimiento del sedimento que naturalmente transporta el agua. Esto hace que esa necesidad natural de transporte del mismo genere un aumento de erosión en la parte inferior de la presa, generando una mayor incisión y en un posible peligro de colapso de la presa por erosión remontante. A este efecto se le conoce como “aguas limpias” o “aguas hambrientas”.

No sólo afecta a la parte inmediatamente inferior de la presa, sino que el embalse actúa de barrera para las relaciones tróficas de diversas especies que necesitan remontar o descender el río (como pueden ser los salmones). Además, tal y como se ha mencionado, los embalses modifican la dinámica fluvial natural que de por sí deberían de llevar, generando una mayor peligrosidad y velocidad del flujo, además de un mayor caudal punta del mismo.

Los embalses de la cuenca del Ebro tienen un número y una magnitud notable. En el mismo cauce del Ebro sí hay ejemplos de que los embalses modifiquen la dinámica fluvial, ya que por ejemplo, el propio delta del Ebro está retrocediendo por la menor recepción de sedimento que tradicionalmente provenía del río y que conseguía la estabilidad de esta importante zona natural. Los embalses no siempre tienen los efectos esperados, ya que pueden ser contraproducentes en la tarea de embalsamiento de agua si hay una excesiva cantidad de los mismos.

4.2 La estrategia Ebro Resilience

La regularización del cauce del río Ebro ha generado un aumento de zonas de explotación agrícola, cada vez más próximas al río generando una mayor exposición ante las inundaciones. Esta expansión de los campos debida a la regulación del caudal y a la domesticación del cauce ha generado una falsa sensación de seguridad (aumentando así el riesgo de inundación y la vulnerabilidad), ya que los daños aumentan cuando el río traspasa durante una crecida importante un umbral de altura definido por las dimensiones de la mota. En la estrategia dice así: “Sin embargo, en el momento en el que los caudales superan un determinado umbral, los daños se multiplican. Esto es debido no solo a la ocupación de terrenos inundables con usos vulnerables, sino a que el desbordamiento de las defensas conlleva normalmente su colapso y la inundación repentina de amplias superficies produciéndose importantes erosiones”.

Las motas y otras acciones de constricción del cauce generan una paulatina disminución de la anchura del corredor fluvial activo. Esto significa en una menor capacidad de desagüe, aumentando la retención de agua y generando una mayor probabilidad de inundar el área que se pretende proteger, la estrategia dice así: “En el momento en que se produce el desbordamiento de una defensa los daños se incrementan con respecto a una inundación natural. Esto se debe al aumento de la velocidad de la corriente que se produce debido a la

diferencia de cota de la lámina de agua a ambos lados de esta infraestructura, lo que provoca importantes erosiones que suelen ocasionar el colapso de ese tramo de la defensa y, en consecuencia, una rápida inundación que reduce la capacidad de respuesta”.

La estabilización de los cauces también fomenta la aparición de vegetación en zonas antiguamente inestables (debido a zonas artificialmente estabilizadas) y que puede conllevar a una disminución de la capacidad de desagüe.

Resumidamente, el modelo tradicional de defensas y encorsetamiento del cauce hacen que sea ineficiente y que, según la estrategia, se realicen este tipo de actuaciones en zonas críticas donde se afecte directamente a la población o a infraestructuras (un pueblo o una carretera importante).

Los dragados también son nombrados en la estrategia, ya que se recomienda evitar los dragados y extracciones masivas de áridos del cauce. Se explica que tienen un alto impacto medioambiental, no sólo por las especies afectadas, sino por las irregularidades que puede generar a lo largo del río (la incisión es un ejemplo de ello). Los dragados son poco efectivos debido a la duración del efecto de los mismos, pero no sólo eso, también pueden generar un aumento de la incisión fluvial que puede poner en peligro a las infraestructuras, además, como la cuenca es tan extensa, no hay una cantidad suficiente de recursos para realizar actuaciones de tal calado.

Tras todas estas razones expuestas, la estrategia sí promueve varias acciones para luchar contra los daños de las riadas, tales como el pastoreo extensivo beneficioso en zonas que se han estabilizado artificialmente, la creación de curages, la promoción del aumento del área inundable como consecuencia del retranqueo de motas, la sucesión de áreas de inundación controlada o devolver espacio al río indemnizando a los propietarios afectados.

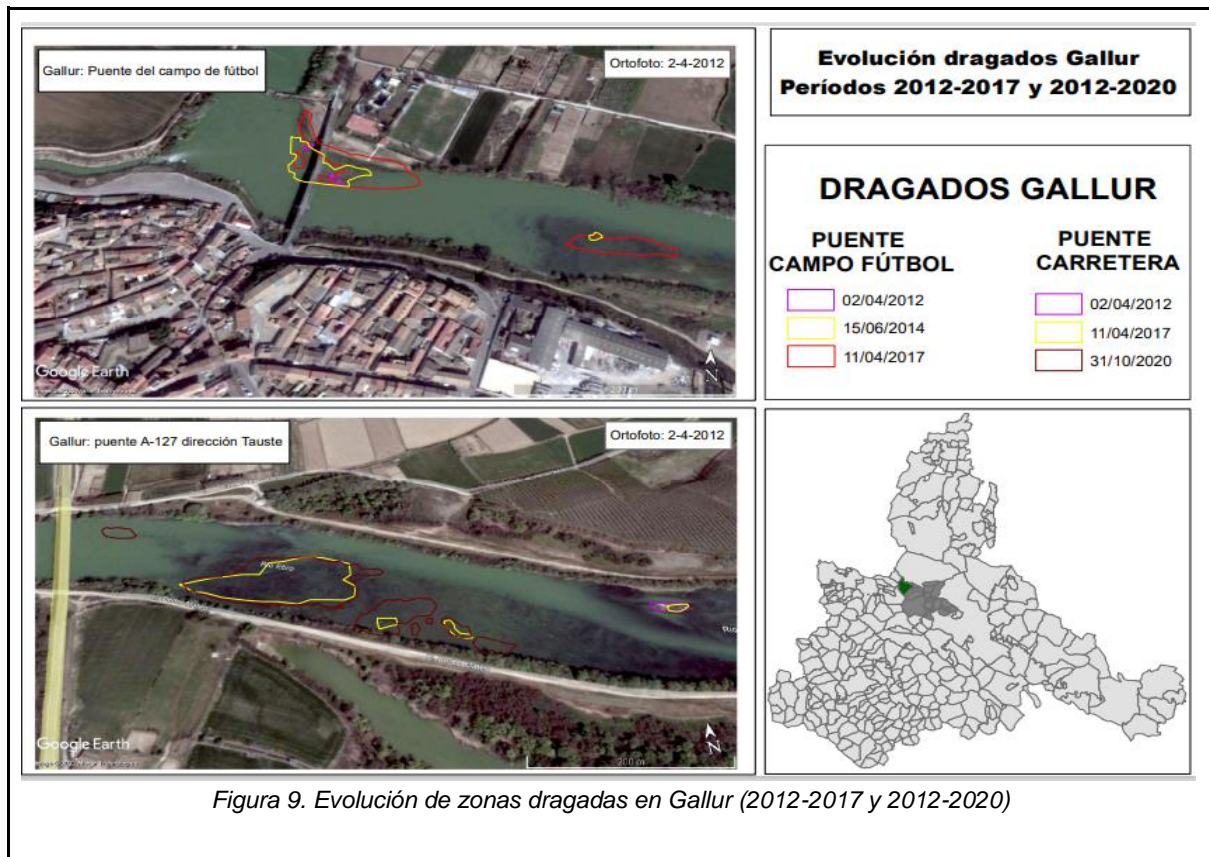
Los curages consiguen recuperar la funcionalidad fluvial de las mejanas del río Ebro y que bien actuadas pueden parecer naturales y efectivas. Esta medida es muy novedosa y se está empezando a aplicar en el río Ebro para intentar sustituir otro tipo de medidas que tienen mayor impopularidad.

La promoción de aumentar el área inundable debida al retranqueo de motas genera una menor peligrosidad y exposición frente a la riada, pero sigue generando las consecuencias negativas mencionadas en la creación de motas, serviría para evitar la afección a poblaciones.

La sucesión de áreas de inundación controlada, que se inundan desde aguas abajo, sin fuerza de corriente, es una medida que sirve para proteger las zonas agrícolas, ya que se pretende generar escalones inundables en zonas donde el Ebro puede desbordar hasta acabar en el propio río. Esta acción puede dar una fuente de agua a los agricultores tras la riada y puede ayudar a laminar el agua desbordada eliminando parte de la energía del flujo y del volumen desbordado.

La última acción, que es la más criticada desde el ámbito ribereño, es devolver el espacio inundable original que el río Ebro tenía, es la acción que genera menor afección de la riada a la población, pero es la que más afecta al indemnizar a los propietarios de este tipo de tierras inundables (sobre todo agricultores) que tienen en explotación estas tierras. Sería una expropiación con indemnización que algunos agricultores no aceptarían en ningún caso y que otros sí lo harían según la cantidad pagada. Esta acción es beneficiosa, ya que hay mayor capacidad de desagüe (la máxima que naturalmente ha tenido) y mayor laminación de la riada.

4.3 Evolución de las zonas dragadas



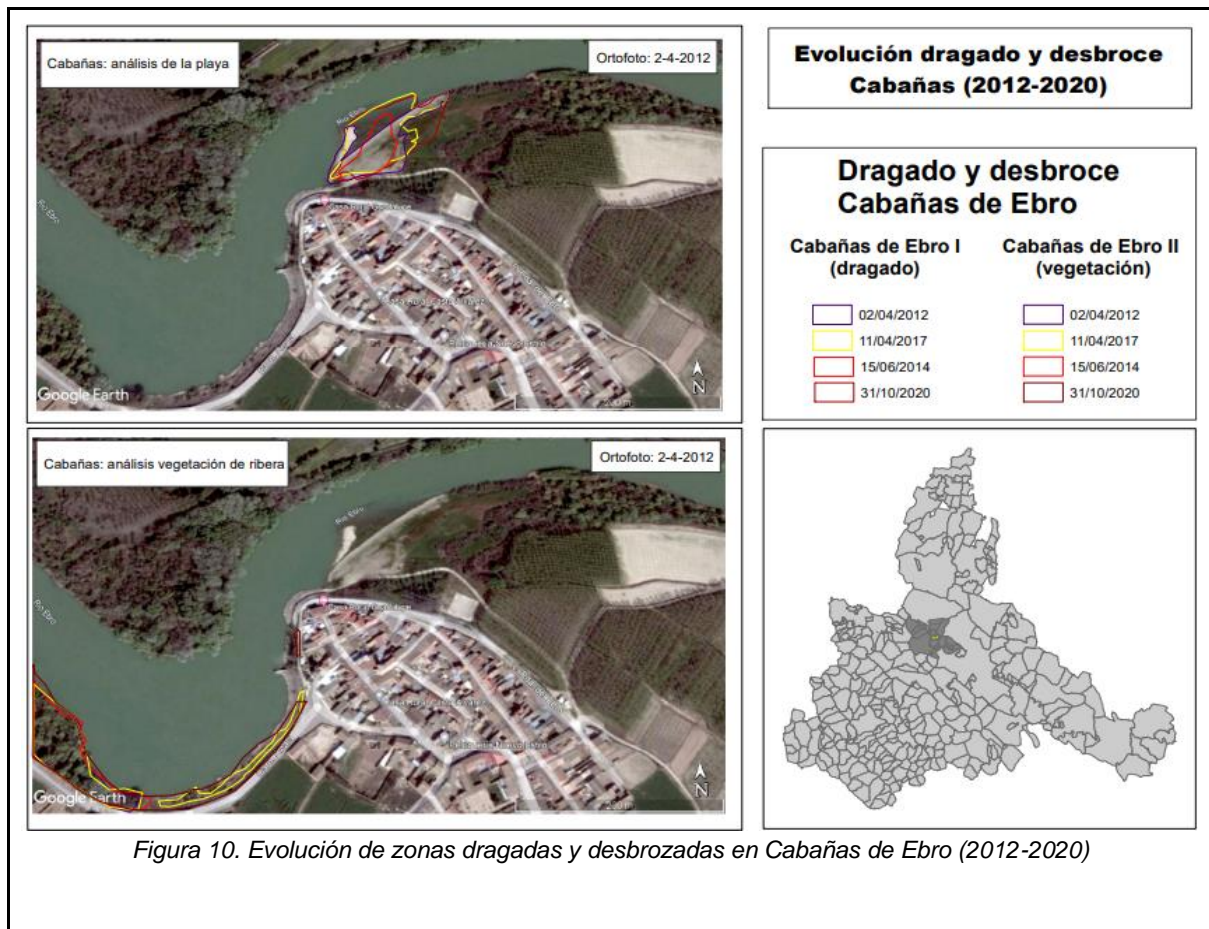


Figura 10. Evolución de zonas dragadas y desbrozadas en Cabañas de Ebro (2012-2020)

En este apartado se comenta en su conjunto los resultados obtenidos de las zonas dragadas en Gallur y Cabañas de Ebro, además de la zona de Cabañas de Ebro en la que se retiró la vegetación.

Las partes actuadas van recuperando su nivel original e incluso aumentan en mayor medida que antes de ser dragadas. Cada zona se recupera en un período diferente, dependiendo de la cantidad de sedimentos que lleva el río, el grado de recepción de los mismos, el grado de acumulación o de la ubicación, siendo diferencial encontrarse en una curva de meandro en la margen izquierda y derecha o en un tramo recto del río.

La mayor parte de las zonas dragadas se han encontrado en meandros y en la salida de los mismos y solamente un ejemplo de tramos rectos.

Todas las zonas se han recuperado, incluso han aumentado su nivel respecto a antes del dragado, ya que se ha mostrado el nivel original (1,12 metros de altura de flujo) y en los años 2017 y 2020 se han visto que las barras han crecido más de 40 centímetros, ya que el nivel de flujo supera el metro cincuenta en el mismo período de recogida del área de las barras (que sobresalen de manera notable incluso con ese nivel de flujo).

En resumen, el dragado si fuera efectivo (que no se puede decir con los resultados obtenidos), lo es en un corto plazo y a costa de absorber recursos monetarios cada poco tiempo, haciendo poco rentable la acción sobre el río, ya que para tener una zona mantenida al mismo nivel que recién dragada (y con efectos que no se puede decir que son beneficiosos) requiere de sucesivas actuaciones cada poco tiempo.

4.4 Serie histórica de actuaciones

Discusión de la serie histórica con el gráfico del antropoceno (Ollero et al. 2021)

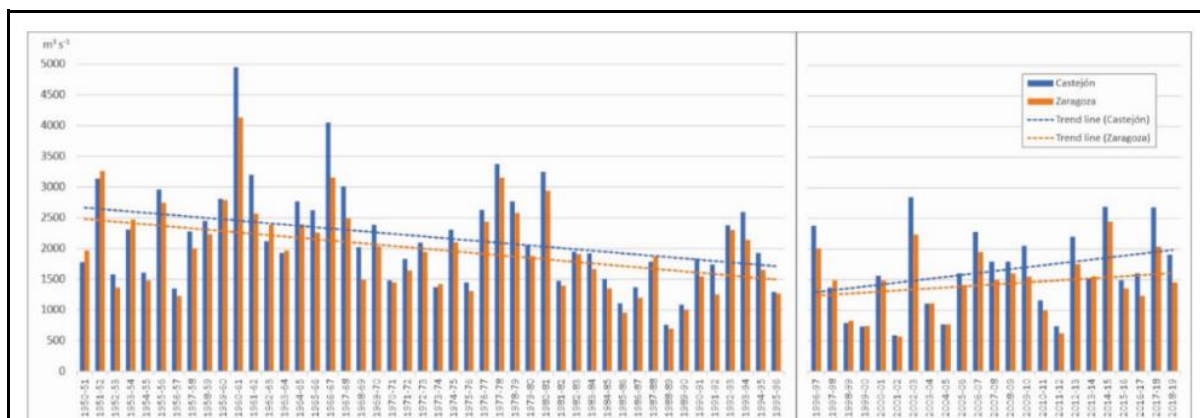


Gráfico 17. Extracción gráfica del antropoceno y caudales en Ollero et al. (2021)

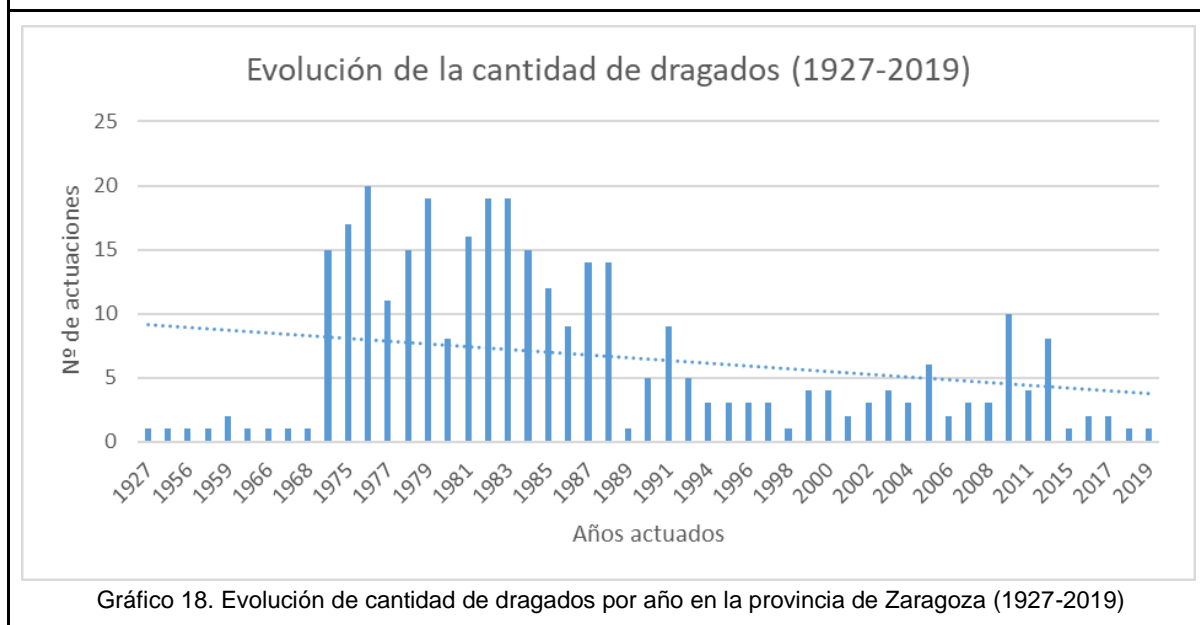


Gráfico 18. Evolución de cantidad de dragados por año en la provincia de Zaragoza (1927-2019)

Se va a comparar la serie de máximos instantáneos y la cantidad de dragados o actuaciones en la provincia de Zaragoza, se pretende hacer un análisis comparativo para tratar de obtener conclusiones sobre el beneficio de los dragados:

En primer lugar, se tendrá en cuenta la evolución de los caudales máximos instantáneos a lo largo de los años, siendo los años 50 los que mayor valor obtienen y el año 1995 el de menor.

A partir de 1996 la tendencia sube, aunque de una manera mucho más reducida que la bajada desde el año 1950.

La razón de esta evolución está en su mayor parte en el nivel de las crecidas a lo largo de las últimas décadas del siglo XX, ya que no se registró ninguna de un porte notable comparando a las que se produjeron en 1961 o en el siglo XXI en 2003 o 2015. Esto puede explicar la reducción de la tendencia y no se puede vincular directamente al nivel de actuaciones, ya que, si fuera ese el motivo, en los años del siglo XXI debería de haber crecido de una manera más parecida a la bajada del siglo XX.

No solamente se puede extraer ese razonamiento, sino que también se podría decir que como a lo largo del período de bajada el nivel de actuaciones es irregular (comienza un período casi sin actuaciones para dar paso a los años de mayor grado de dragado y volver a un nivel notablemente más bajo de zonas actuadas).

En resumen, el nivel de dragado no puede servir para dar una relación de mayor dragado menor nivel de crecidas, ya que, para ello, no debería de coincidir en que el año anterior al 2011 (con menor grado de actuación) con los de menor nivel de pico máximo, sino que tendría que ser al revés.

Esto quiere decir que en los años de dragado y posteriores no significan un menor nivel de flujo, ya que hay datos con un menor nivel del mismo y con un mayor.

4.5 Curages

Los curages son una medida novedosa y que tiene un gran potencial, de hecho, ya hay algunos ejemplos que sirven de muestra para estudiar el efecto que tienen sobre las riadas.

Esta medida tiene un gran potencial que, bien actuado, puede ayudar a laminar las riadas, sobretodo teniendo en cuenta la reconexión de antiguos cauces que consigan la recuperación de la dinámica hidromorfológica. En resumen, los mejores son los que hacen más complejo el cauce del río y que mejoran su dinámica natural. Es necesario evitar la destrucción de morfologías como barras (creando solo algunos pasillos y no destruyendo la morfología) o evitar la creación de numerosos pasillos y que sean accesibles (ya que se consigue una antropización de la zona). Es una buena propuesta para recuperar su forma natural dejando al río actuar por su cuenta.

Como recomendaciones de nuevas actuaciones se pueden tomar zonas próximas a poblaciones o infraestructuras críticas y en la reconexión de antiguos cauces. También se recomienda no realizar actuaciones de mucha anchura en los pasillos y evitar realizar numerosos pasillos, creando los justos y necesarios.

Se va a visualizar de nuevo el mapa de curages actuados, cada uno de ellos necesitará un seguimiento continuo para evaluar los efectos que tienen:

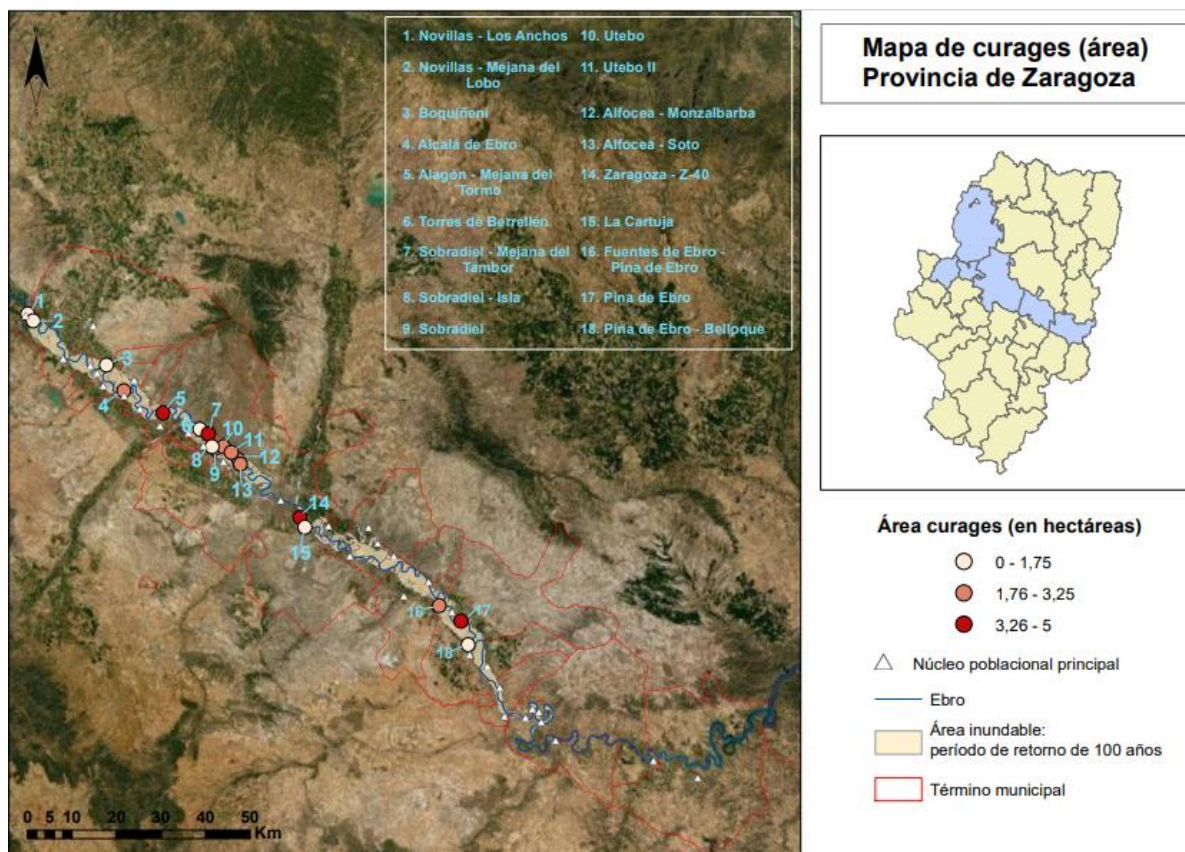


Figura 11. Localización y área de curages en la provincia de zaragoza

Como se puede ver, se han realizado 18 actuaciones sobre la provincia de Zaragoza, cada una tiene un área y longitud diferentes y que tratan de reactivar zonas como paleocauces o de unir con brazos ciegos.

Esta propuesta todavía no se puede tomar como alternativa real, ya que falta realizar la evaluación de la misma, pero que, si se van cumpliendo las expectativas, podría convertirse en una medida estrella y eficaz en este tema que consiga aunar a expertos y población y reduzca o elimine los dragados.

4.6 Mapas de inundación

Se va a proceder a analizar las consecuencias de las riadas de los años 2003 y 2015, se tiene en cuenta la riada del año 2003 como una riada con un bajo nivel de dragado (de acuerdo con los datos de la confederación en ese período) y la del 2015 como una riada con un mayor nivel del mismo.

Se va a proceder a analizar los daños de cada una y, tras ello, se compararán para saber si un mayor nivel de dragado ha tenido consecuencias positivas.

Riada de 2003:

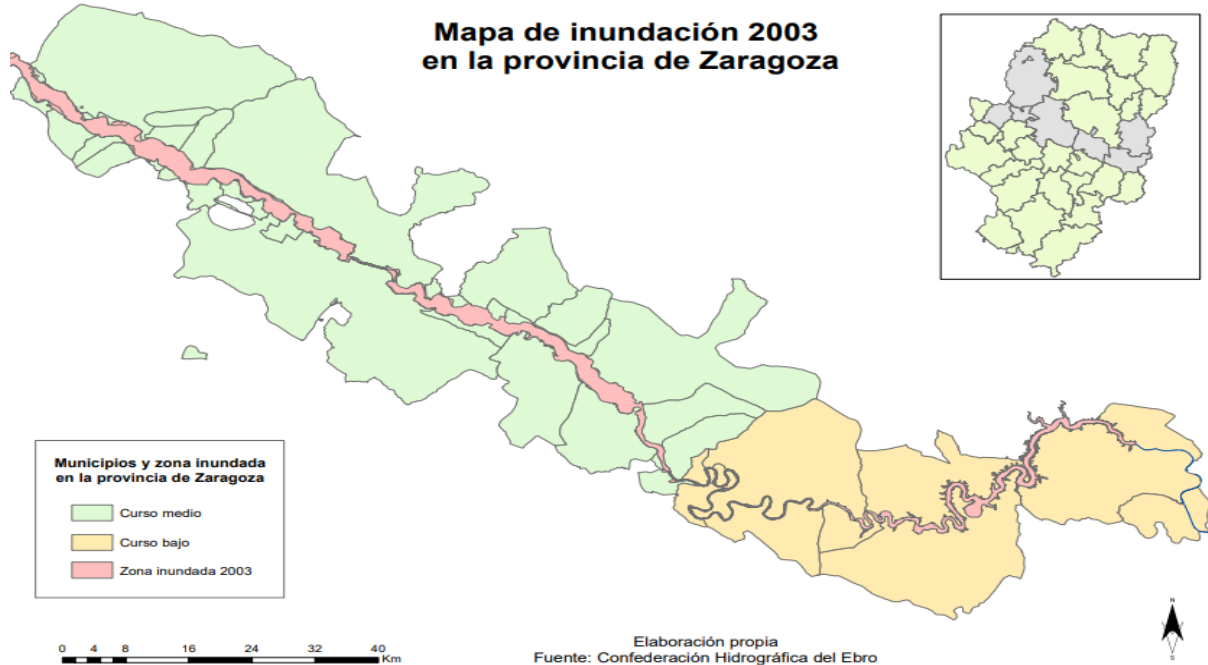


Figura 12. Extracción del mapa de inundación de la crecida de 2003 (Confederación Hidrográfica del Ebro)

Se puede comprobar que la mayor cantidad de daños se sitúan aguas arriba y abajo de Zaragoza hasta alcanzar la zona meandriforme encajada donde comienza el curso bajo.

Riada de 2015

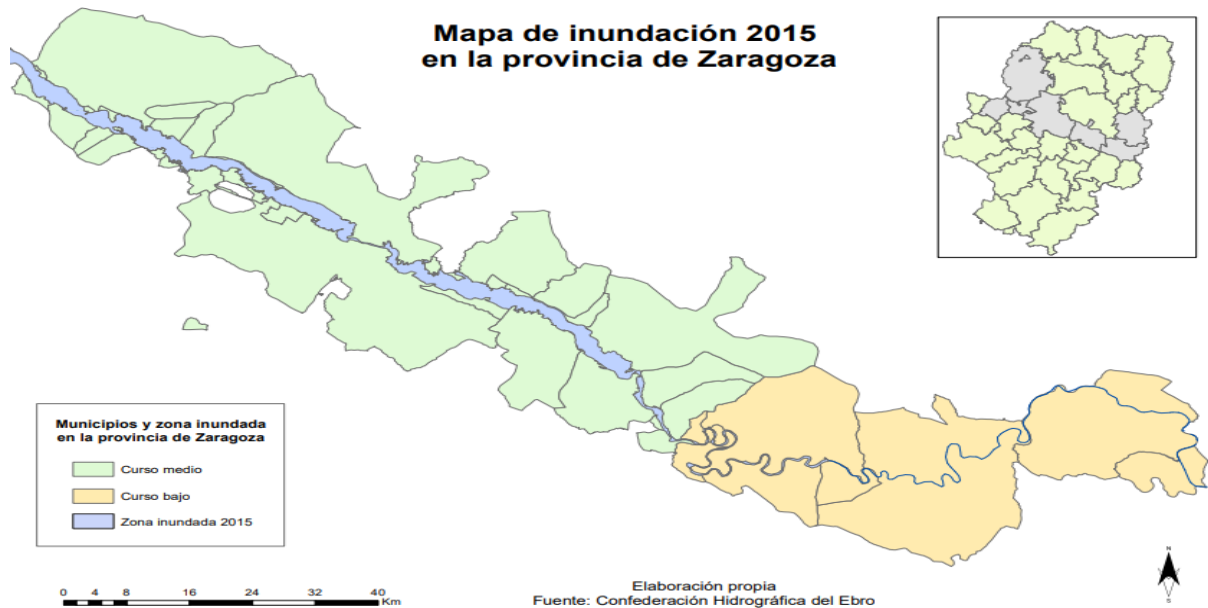


Figura 13. Extracción del mapa de inundación de la crecida de 2015 (Confederación Hidrográfica del Ebro)

En este caso se comprueba que los daños se sitúan en la mayor parte en el curso medio del río con la excepción de Zaragoza.

Si se realiza la comparación de daños entre las dos situaciones se puede ver que a rasgos generales los daños han sido similares, aunque se puede remarcar que en el año 2015 la riada ha afectado más regularmente en el curso medio, mientras que en el 2003 la riada (similar pero no tan ancha) ha afectado a parte del curso bajo (zona de Caspe, por ejemplo). Como conclusión se puede extraer que el nivel de dragado no consigue evitar el daño de las riadas, se podría considerar una medida con potenciales impactos negativos y con muy escasos impactos positivos y dando la idea de encontrar soluciones alternativas que sean más eficaces

4.7 Ponencias de la Unión de Agricultores y Ganaderos de Aragón

La sesión técnica y de debate celebrada en UAGA el día 24 de abril de 2022 fue un evento sumamente interesante, ya que en él se barajaron diferentes soluciones para paliar el efecto de las riadas. Algunas actuaciones eran más agresivas, otras eran intermedias y, por último, algunas eran menos dañinas y más naturalizadas.

En las soluciones más discutidas y más agresivas se han mencionado los dragados o “limpiezas” del río o las creaciones de nuevas motas; estas medidas son las más dañinas ya que modifican la dinámica fluvial de una manera más notable.

Los dragados (primera medida mencionada) tienen las consecuencias que se han ido mencionando a lo largo del trabajo y que se repitieron en esta jornada.

Las motas también pueden tener efectos negativos, ya que no sólo retienen parte del sedimento, sino que también canalizan el río y puede generar efectos en zonas aguas abajo. En las soluciones intermedias se han podido establecer el retranqueo de motas o el novedoso “curage”.

El retranqueo de motas es una solución intermedia, ya que si que es verdad que se devuelve espacio inundable para el río, también se mantienen las motas y las consecuencias de las mismas.

El “curage” es una solución intermedia que trata de crear espacios inundables en las barras de los ríos, se consigue creando canales o superficies poco compactas que en una crecida permiten que fluya el agua a través de las barras.

Entre las soluciones más naturales se han mencionado la creación de cauces de alivio, devolver el espacio inundable al río e indemnización a las personas afectadas.

Los cauces de alivio son canales secundarios que sirven para que fluya el agua en una crecida de un nivel alto, dando mayor capacidad de desagüe al río. Esto simularía el efecto de los galachos, por ejemplo, ya que es la zona donde el agua circulaba con anterioridad y que se reparte entre ese cauce y el actual cuando hay una situación de crecida.

La medida más criticada por el hecho de afectar de forma directa a la población es la devolución de espacio fluvial al río, ya que choca frontalmente con los usos del suelo que realiza el ser humano y que en muchos casos son el trabajo de la población, pero si se devuelve el terreno al río, se consigue que no haya ninguna afectación al ser humano dejando que vuelva a tener su curso natural y que se recuperen las formas del río originales.

Se relatan a continuación los principales argumentos que salieron a la palestra:

Las poblaciones se establecen en el sitio por la alta fertilidad de las tierras, son zonas relativamente llanas, ricas en nutrientes que el río ha ido transportando y con un nivel freático elevado que conlleva a un mayor aporte de agua.

Pasa que actualmente las zonas de períodos de retorno próximos están siendo ocupadas y eso deriva a un aumento de la peligrosidad.

Un ejemplo de ello es el Actur, es una actuación urbana situada en la margen izquierda del río Ebro y que está en una zona inundable. Si no fuera por la regulación del río al inicio y a la mayor pendiente en el tramo de Zaragoza éste se inundaría con frecuencia, pero queda claro que en algún momento podría inundarse si hubiera una riada muy superior a las registradas.

Se plantea un serio debate y es si los embalses son buenos, los justos o suficientes. Pasa que los embalses son reguladores de caudal, pero esto se traduce directamente con las riadas ordinarias, que son de pequeña magnitud. Estas riadas son controladas satisfactoriamente pero en lo relativo al estado del río los embalses retienen el sedimento e impiden la movilización del mismo, esto genera fenómenos de “aguas limpias” y aumenta la erosión en el fondo del río y puede conllevar a horadar el fondo del río y a disminuir en altura generando encajamientos, ya que el sedimento lo debe de recuperar de alguna manera (por eso de que en las salidas de los embalses haya alta pendiente y haya valles más excavados de lo que debería).

Los embalses en las crecidas más grandes sí ayudan a regular, sobre todo desembalsando agua antes del periodo de crecida y llenándose con ésta, pero cuando se llega a cierto límite no se puede regular el caudal, de hecho, poco a poco tienen que desembalsar y en el período de crecida igual, ya que se debe de ir laminando. Esto conlleva que se suceda una imposibilidad de regular en los periodos de fuertes crecidas, ya que durante un tiempo puede regular, pero no es suficiente ni es una solución efectiva al final.

En la ponencia de Lorenzo Polanco (exdirector de la Confederación Hidrográfica del Ebro) se habló de la estrategia Ebro Resilience. Trata de aplicar a gran escala las actuaciones para mejorar el compromiso de confluencias de caudales.

En un principio y cuando no se estudiaban las repercusiones de las actuaciones se realizaban dragados, escolleras, diques de contención, encauzamientos, canalizaciones...

Al irse estudiando y criticando estas actuaciones se ha visto que estas medidas son, cuanto menos, poco eficaces. Sí que puede ser que aumente el área inundable del cauce (ya que al dragar se da un poco de altura para inundar) pero es poco rentable y realista hacer dragados cada poco tiempo. No sólo eso, sino que lo único útil que tiene es eso, pero que luego no se traduce en menores impactos para la población ni tampoco en una mejora de la seguridad, sino como mero placebo, ya que dan una falsa sensación de seguridad pensando que se ha actuado, pero que luego, las riadas actúan e inundan de la misma manera.

Las motas son efectivas en controlar el cauce y que pueden ayudar, pero se encorseta el río y puede provocar el encajamiento y la acumulación de sedimentos en la entrada de las motas, por ello se propone el retranqueo y compuestas en los diques para que no sólo haya mayor superficie inundable, sino que también el sedimento se reparta efectivamente.

La estrategia Ebro Resilience propone en la actualidad soluciones intermedias, tales como el retranqueo mencionado, la creación de cauces de alivio, la mejora de la permeabilidad de las infraestructuras y la creación de áreas de inundabilidad temporal.

Con esta última medida se trata de crear varios “escalones” de balsas que son efectivas al haber episodios de crecidas y que se van activando conforme se inundan las más próximas al río.

Esto sirve para laminar las crecidas.

En esta reunión también se mencionó la importancia de no modificar los espacios ribereños, además de añadir información sobre cómo afectan los curages a los mismos, siendo una medida que puede respetar estos espacios (si están bien actuados). También se habló de ecotonos y la importancia de mantenerlos por el valor ecológico de los mismos.

5. Conclusiones

Este trabajo ha dado luz a diferentes puntos, los cuales se mencionan en este apartado.

Los ríos como sistema transportan, arrastran y depositan sedimentos, el ser humano no puede ni debe cambiar esa dinámica, ya que es una dinámica natural que mejora el estado del río y de las zonas aledañas, ya que se evitan encajamientos, deslizamientos en zonas aledañas o daños en las riadas mayores de lo que deberían de tener.

Teniendo en cuenta los dragados, se recomienda que se reduzcan este tipo de acciones, ya que cualquier acción en un punto de un río puede afectar a otra zona aguas abajo (al ser los ríos un sistema). Teniendo en cuenta el efecto esperado, se puede comprobar que no se materializa, ya que una crecida extraordinaria o de gran porte va a inundar de manera parecida esté o no dragado el cauce, significando en efectos negativos sobre la zona actuada y en escasos efectos positivos.

El río tiene pocos parámetros modificables, tales como la rugosidad (mediante dragados) y el caudal (de forma puntual embalsando, ya que una crecida de alto porte no puede ser manejada en su totalidad y llega un punto en el que se debe de dejar pasar una gran cantidad de agua). Todas las modificaciones de los parámetros del río pueden afectar a cualquier parte del río

Para luchar contra los daños de las riadas se va a intentar paliar el daño, lo único que cambiarán son las medidas aplicadas y que evolucionarán conforme se sepan los efectos generados y la evolución de la cuenca en períodos extraordinarios y ordinarios.

De hecho, se ha intervenido fuertemente en el siglo pasado y estas actuaciones vienen decayendo tras estudiarse los efectos. Se pueden realizar actuaciones que tengan un mayor efecto en las riadas (o al menos que palien los efectos), uno de ellos como medida inicial y que sirve para naturalizar el cauce son los curages, medida que tiene un relativo consenso y que puede servir para reconectar antiguos cauces y que bien actuados pueden tener consecuencias positivas sobre los efectos que generan las riadas.

Esta medida tiene poca trayectoria y carece de bibliografía asociada, significando en la evaluación continua de esta acción y que conforme el tiempo vaya pasando surgirá nueva bibliografía asociada al estudio de los curages.

Las antiguas medidas de intervención del cauce y que tienen que ver con los dragados o la creación de embalses están en detrimento, además, las retiradas masivas de áridos del cauce van en detrimento, significando en menor volumen actuado. para sustituir las antiguas medidas se proponen otro tipo de actuaciones que tienen más que ver con la naturalización de los cauces.

Hablando de dragados, se puede ver que en el río Ebro las zonas dragadas se recuperan tras unas pocas crecidas, de hecho, en algunos casos crecen en mayor medida que el inicio de las actuaciones.

Tras las ponencias de abril, se ha podido ver que las medidas actuales tendrán cada vez menos consenso, ya que la naturalización del cauce y otras medidas asociadas a la devolución de espacio fluvial podrán significar menor zona cultivada y una afección a los

agricultores; además, las riadas extraordinarias afectarán por la exposición de los campos y pueblos a la población ribereña.

6. Bibliografía

Byrnes, M. R.; Griffee, S. F. y Osler, M. S. (2010). *Channel Dredging and Geomorphic Response at and Adjacent to Mobile Pass, Alabama*. U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC) / Coastal and Hydraulics Laboratory (CHL).

Chasco Goñi, U. (2020). *Análisis del estado de limpieza de un cauce en riesgo de inundación*. Trabajo de Fin de Máster dirigido por Ernest Bladé Castellet para el Máster en *Enginyeria de Camins, Canals i Ports* a cargo de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Gallego Conesa, C. (2016). "Análisis de la influencia que el estado de limpieza de los cauces tiene en las avenidas". Comunicación técnica ante el decimotercer Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), Madrid.

Gob, F.; Houbrechts, G.; Hiver, J. M. y Petit, F. (2005). "River dredging, channel dynamics and bedload transport in an incised meandering river (the river Semois, Belgium)". *River Research and Applications* nº 21, pp. 791-804.

Kondolf, G. M. (1994). "Geomorphic and Environmental Effects of Instream Gravel Mining". *Landscape and Urban Planning* nº 28, pp. 225-243, Elsevier Science B. V., Ámsterdam.

Kondolf, G. M. (1997). "Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels". *Environmental Management* nº 21-4, pp. 533-551. Springer-Verlag New York Inc.

Kondolf, G. M.; Smeltzer, M. and Kimball, L. (2002). *Freshwater Gravel Mining and Dredging Issues*. Center for Environmental Design Research, University of California, Berkeley.

Moral Lechuga, R. (2021). *Caracterización y evaluación de actuaciones de curage en los sotos de Alfocea, Utebo y Sobradiel (curso medio del Ebro)*. Trabajo de Fin de Grado en Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.

Mossa, J.; Chen, Y. H.; Kondolf, G. M. y Porter Walls, S. (2020). "Channel and vegetation recovery from dredging of a large river in the Gulf coastal plain, USA". *Earth Surface Processes and Landforms* nº 45, pp. 1926-1944.

Ollero Ojeda, A. (2020). "Crecidas, inundaciones y resiliencia: Restauración fluvial contra los falsos mitos". *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*, pp. 549-568. Universidad de Alicante, Alicante.

Ollero Ojeda, A. (2020). "Sección de desagüe, alteración de la geomorfología en cauces aluviales y restauración fluvial". *RestauraRios. Conservación y restauración fluvial* nº 1, pp. 1-10.

Ollero Ojeda, A.; Horacio García, J; Ibisate González de Matauco, A. y Sánchez Fabre, M. (2021). "Updated Knowledge on Floods and Risk Management in the Middle Ebro River: the 'Anthropocene' Context and River Resilience". *Cuadernos de Investigación Geográfica* nº 47-1, pp. 73-94. Universidad de La Rioja, Logroño.

Rahman, M. M.; Hasan, M. S.; Eusufzai, M. K. y Rahman, M. M. (2021). "Impacts of Dredging on Fluvial Geomorphology in the Jamuna River, Bangladesh". *Journal of Geoscience and Environment Protection* nº 9, pp. 1-20.

Stępień, E.; Zawal, A.; Buczyński, P.; Buczyńska, E. y Szenejko, M. (2019). "Effects of dredging on the vegetation in a small lowland river". *PeerJ* 7:e6282.

Trullenque Blanco, V.; Montealegre Gracia, A. L. y Ollero Ojeda, A. (2022). "Análisis multi-temporal de los cambios geomorfológicos y de la cubierta vegetal en un cauce extenso de gravas: el río Cinca, Aragón (España)". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* nº 92.

Vinet, F. (2003). *Crues et inondations dans la France méditerranéenne. Les crues torrentielles des 12 et 13 novembre 1999 (Aude, Tarn, Pyrénées-Orientales et Hérault)*. Editions du Temps, Nantes.

Williamson, P.; Ogunyoye, F.; Dennis, I.; Douglas, J.; Hardwick, M.; Sayers, P.; Fisher, K.; Thorne, C. y Holmes, N. (2015). *Delivering benefits through evidence. Channel Management Handbook*. Environment Agency, Bristol.

7. Anexo

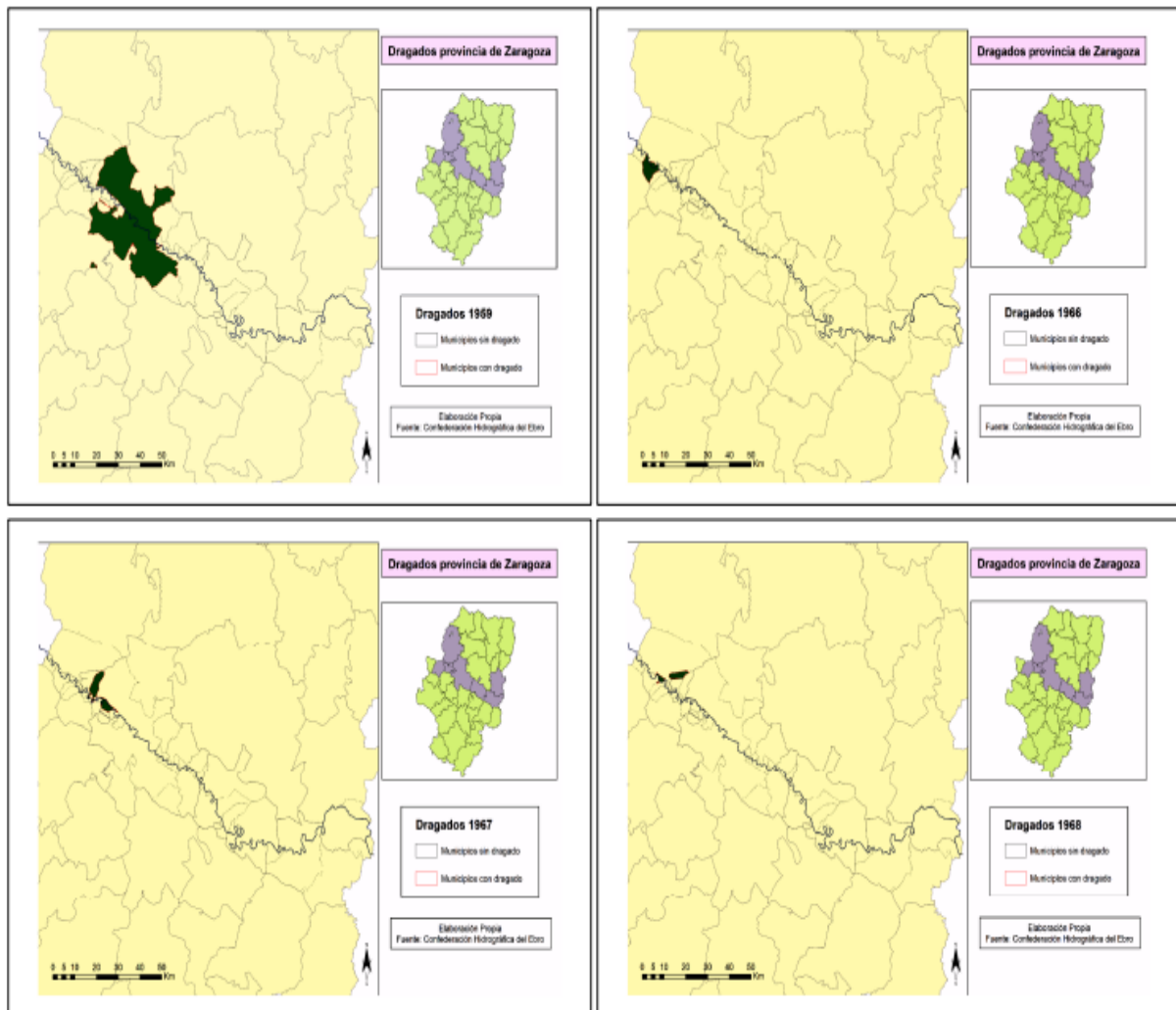


Figura 14. Dragados en la provincia de Zaragoza entre los años 1959-1968

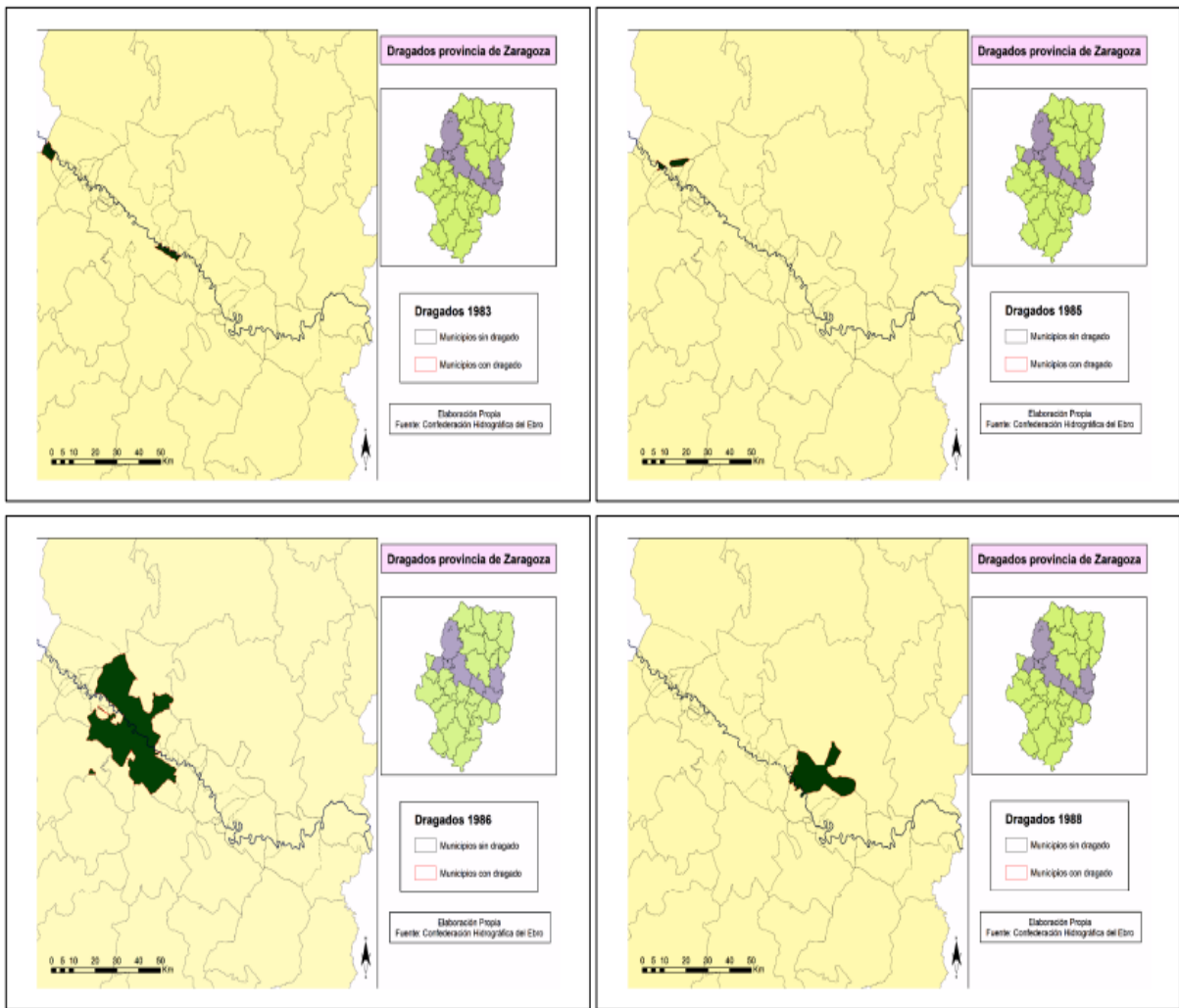


Figura 15. Dragados en la provincia de Zaragoza entre los años 1983-1988

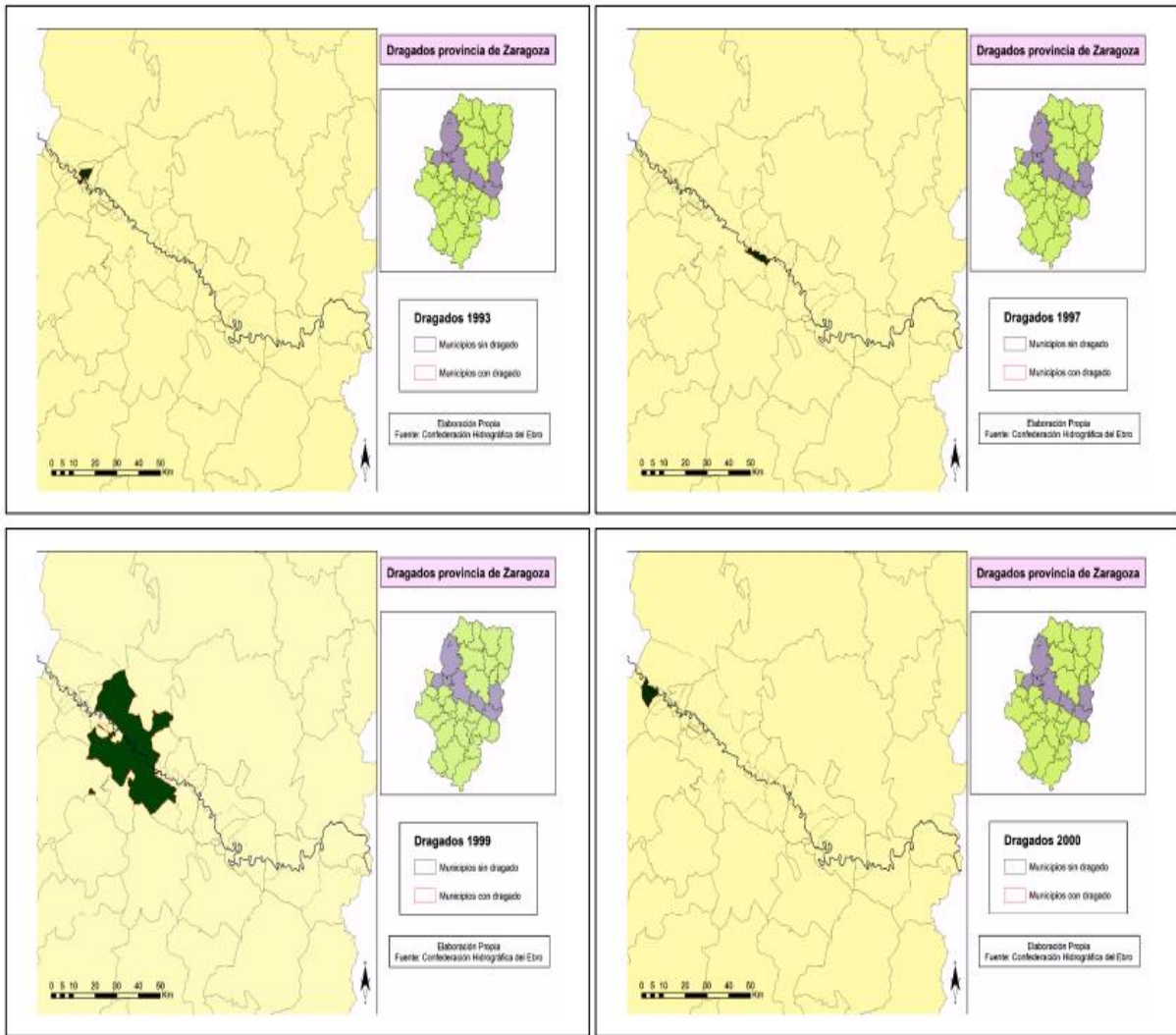


Figura 16. Dragados en la provincia de Zaragoza entre los años 1993-2000

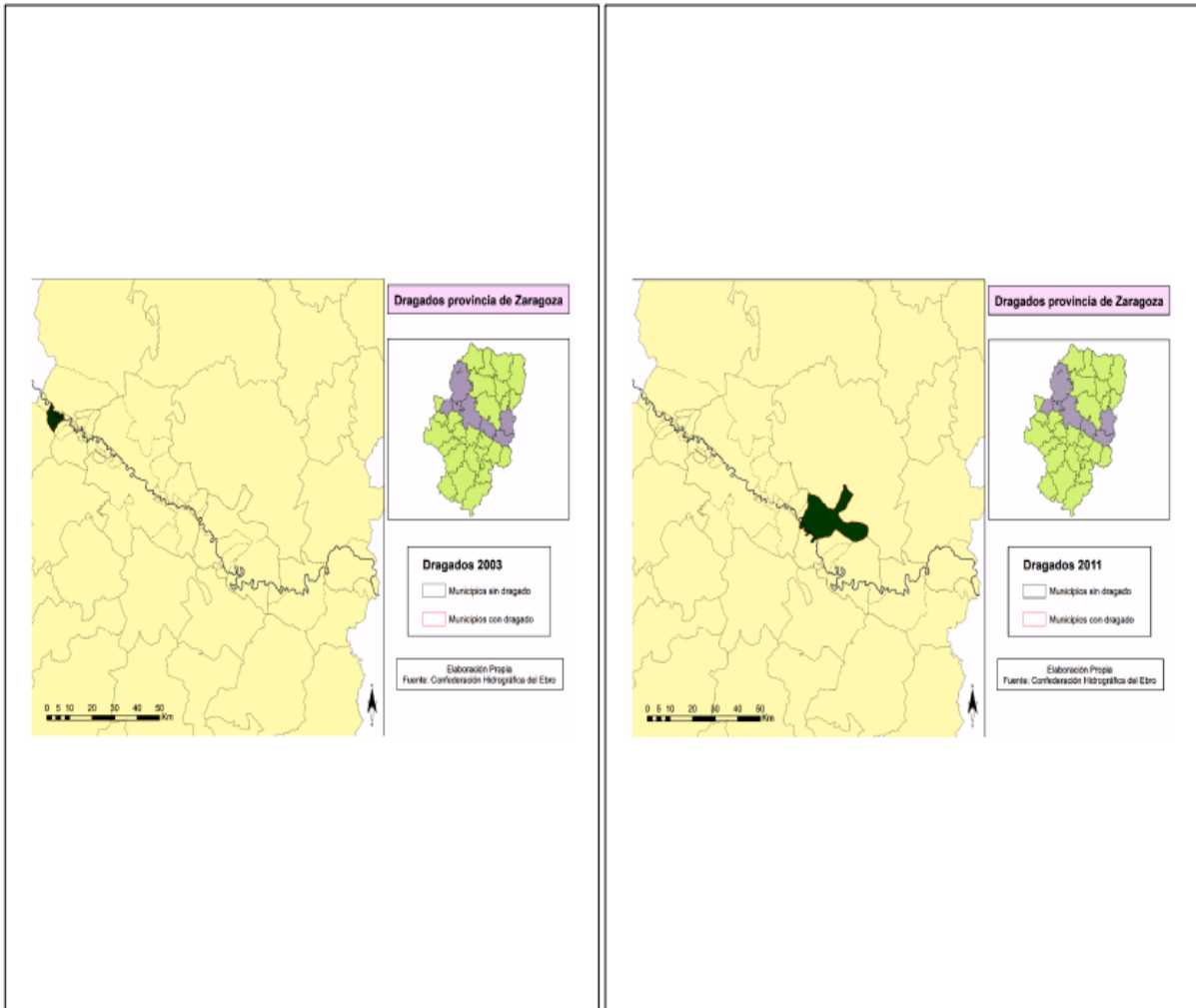


Figura 17. Dragados en la provincia de Zaragoza entre los años 2003-2011

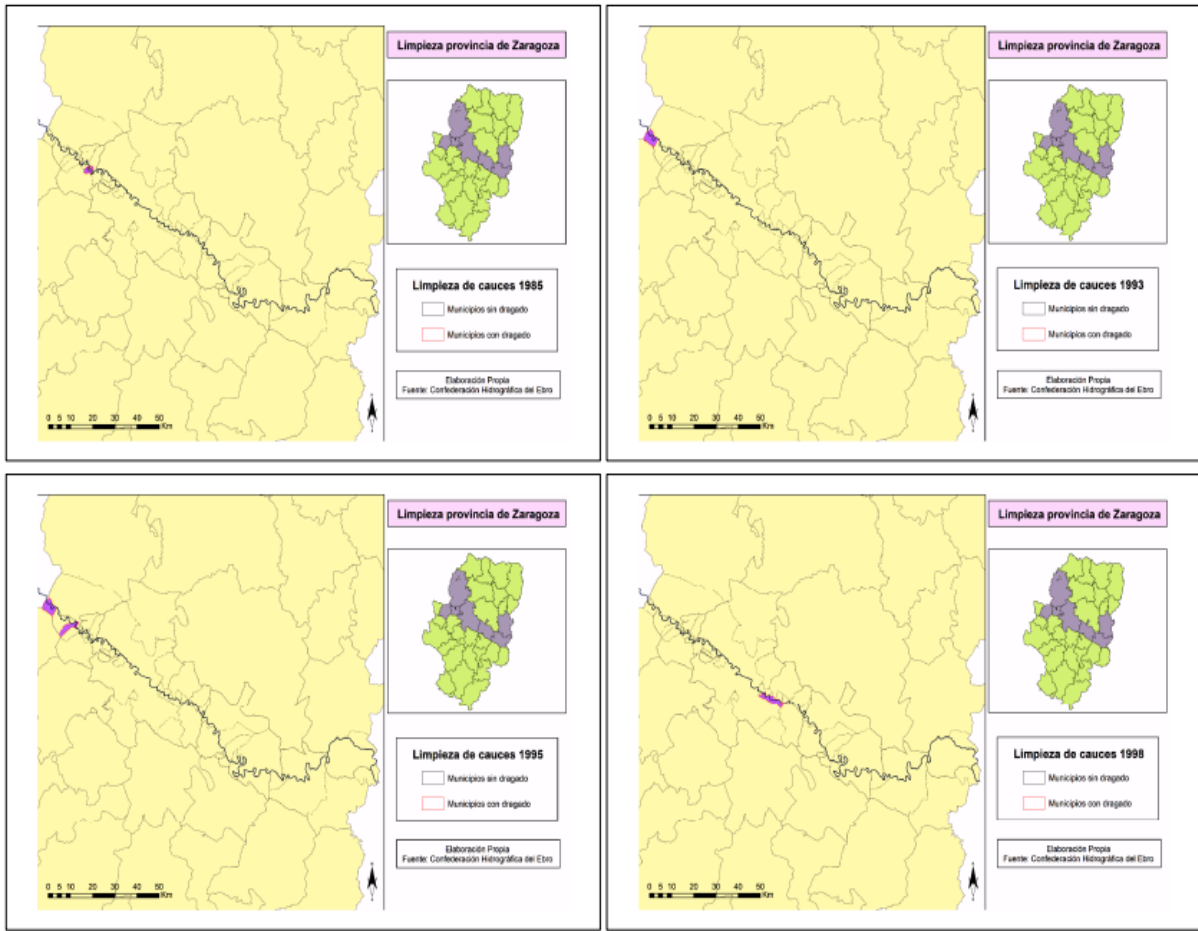


Figura 18. Limpiezas de Cauce en la provincia de Zaragoza entre los años 1985-1998

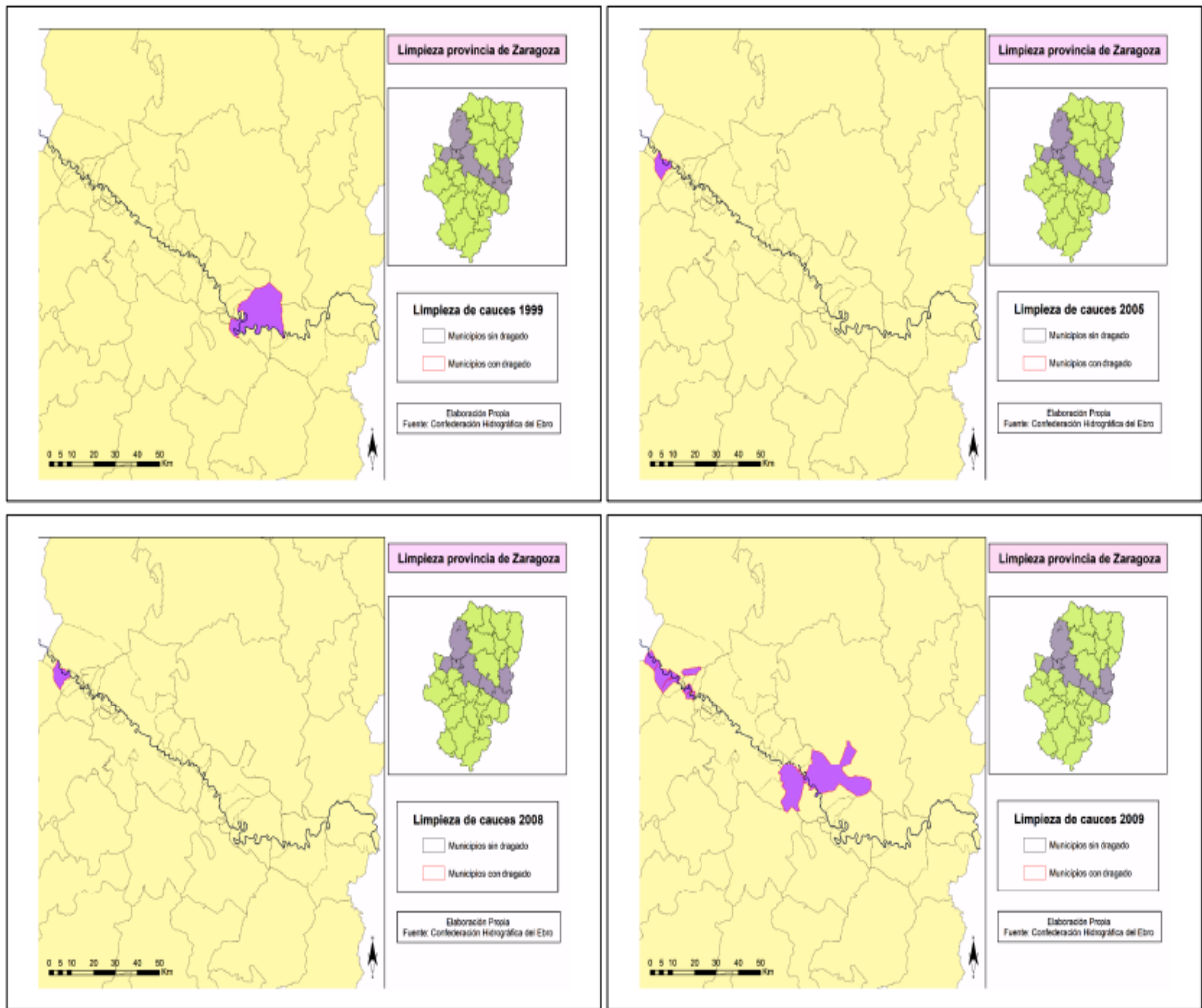


Figura 18. Limpiezas de Cauce en la provincia de Zaragoza entre los años 1999-2009

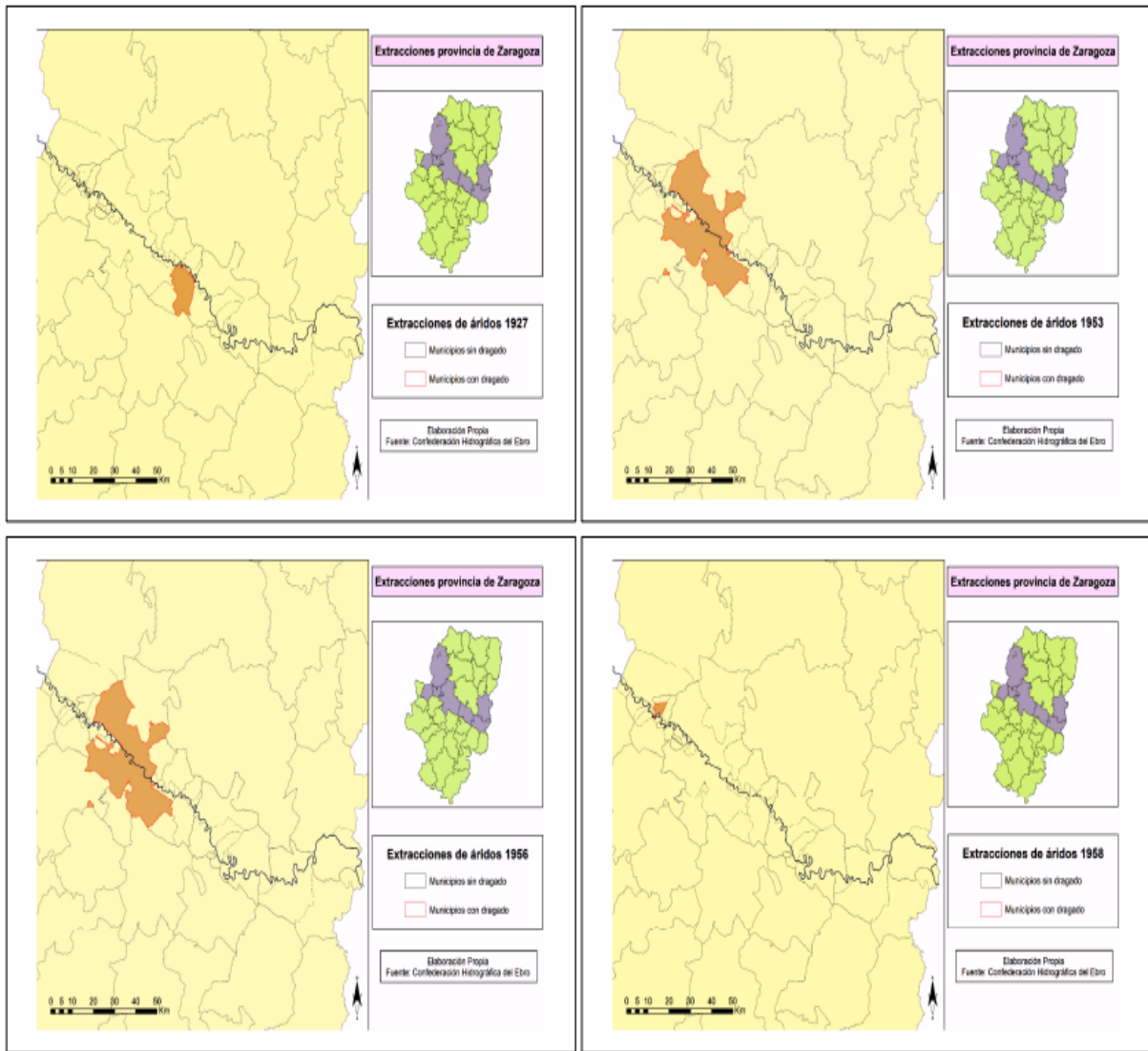


Figura 19. Extracciones de áridos en la provincia de Zaragoza entre los años 1927-1958

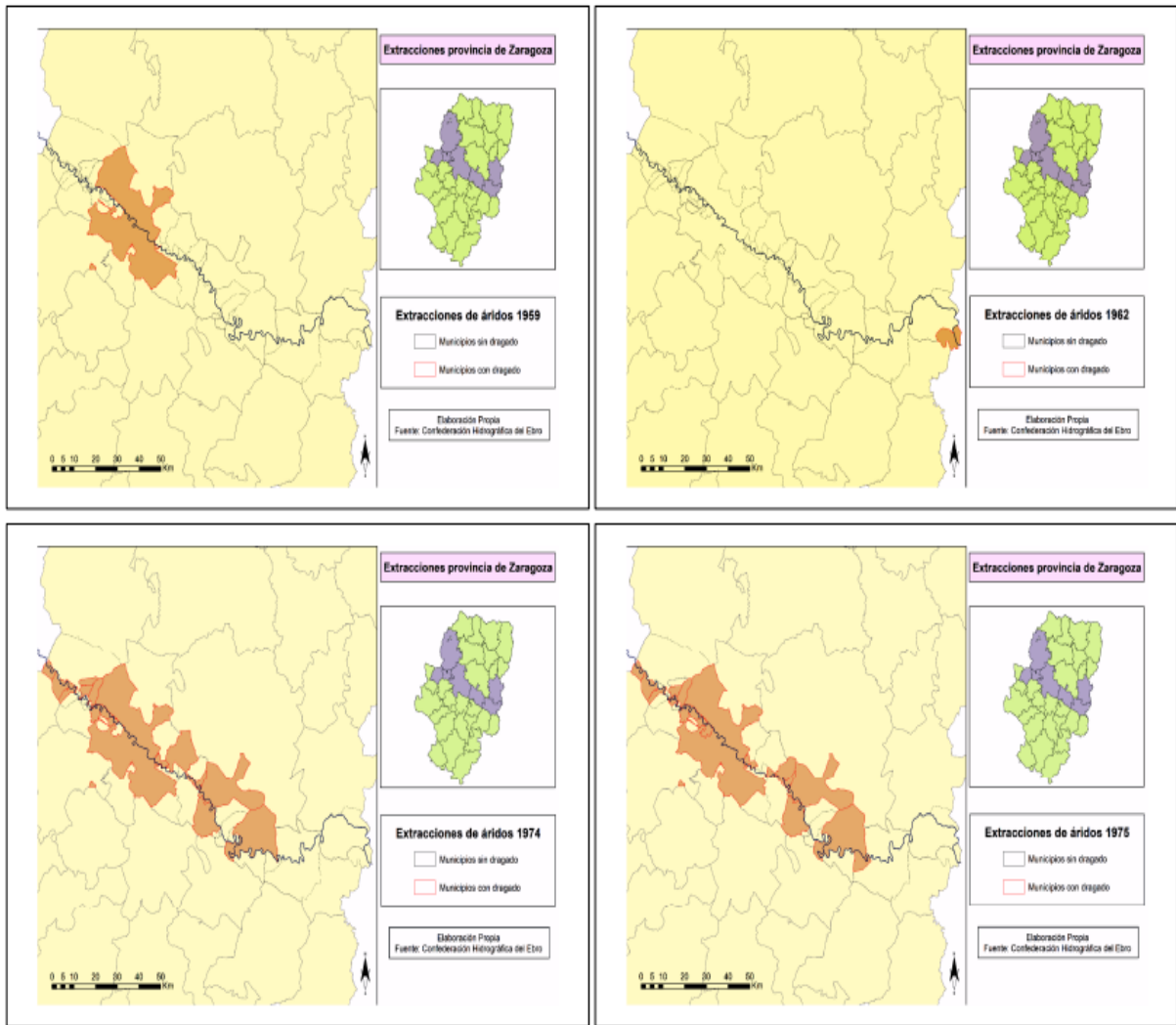


Figura 20. Extracciones de áridos en la provincia de Zaragoza entre los años 1959-1975

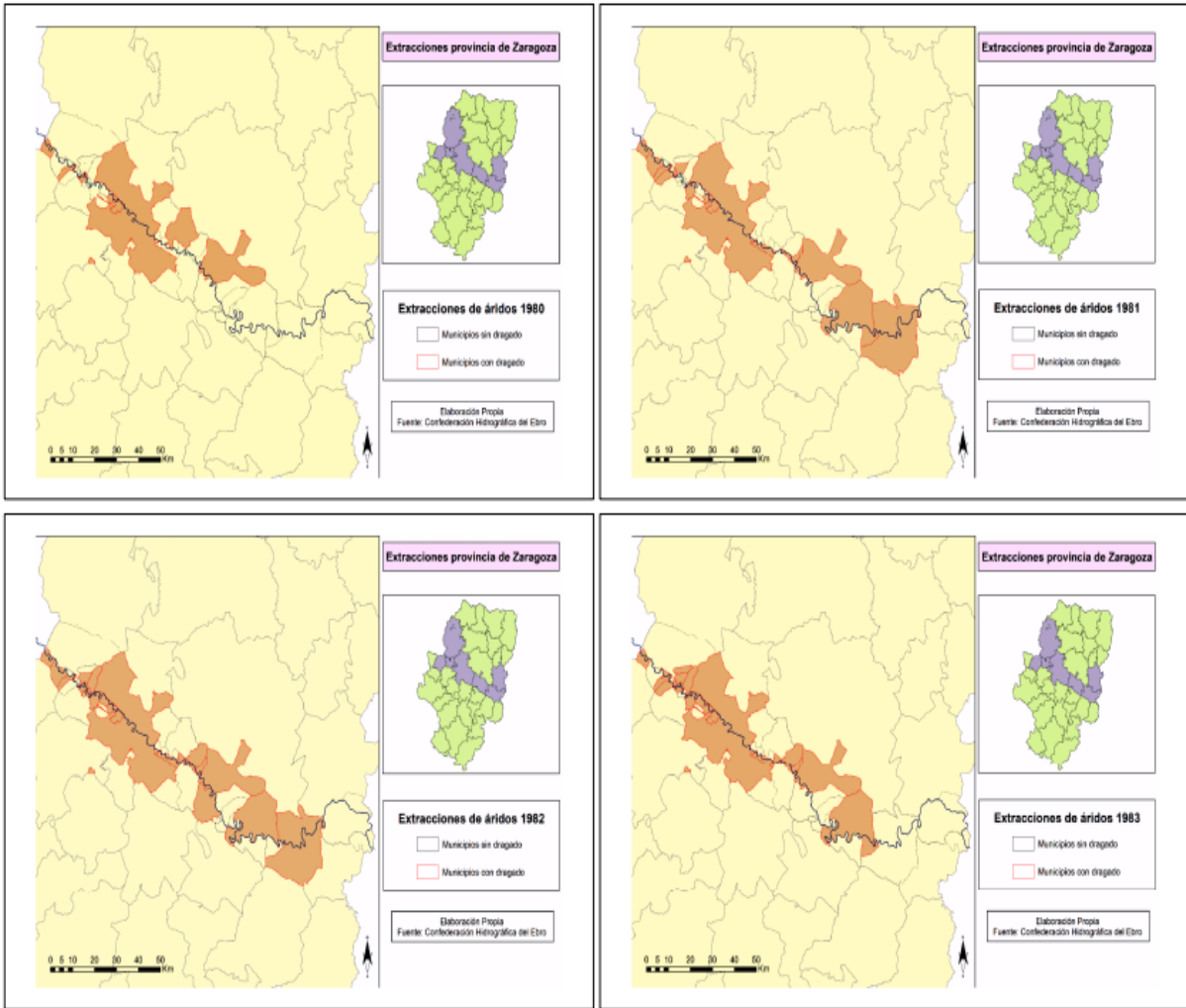


Figura 21. Extracciones de áridos en la provincia de Zaragoza entre los años 1980-1983

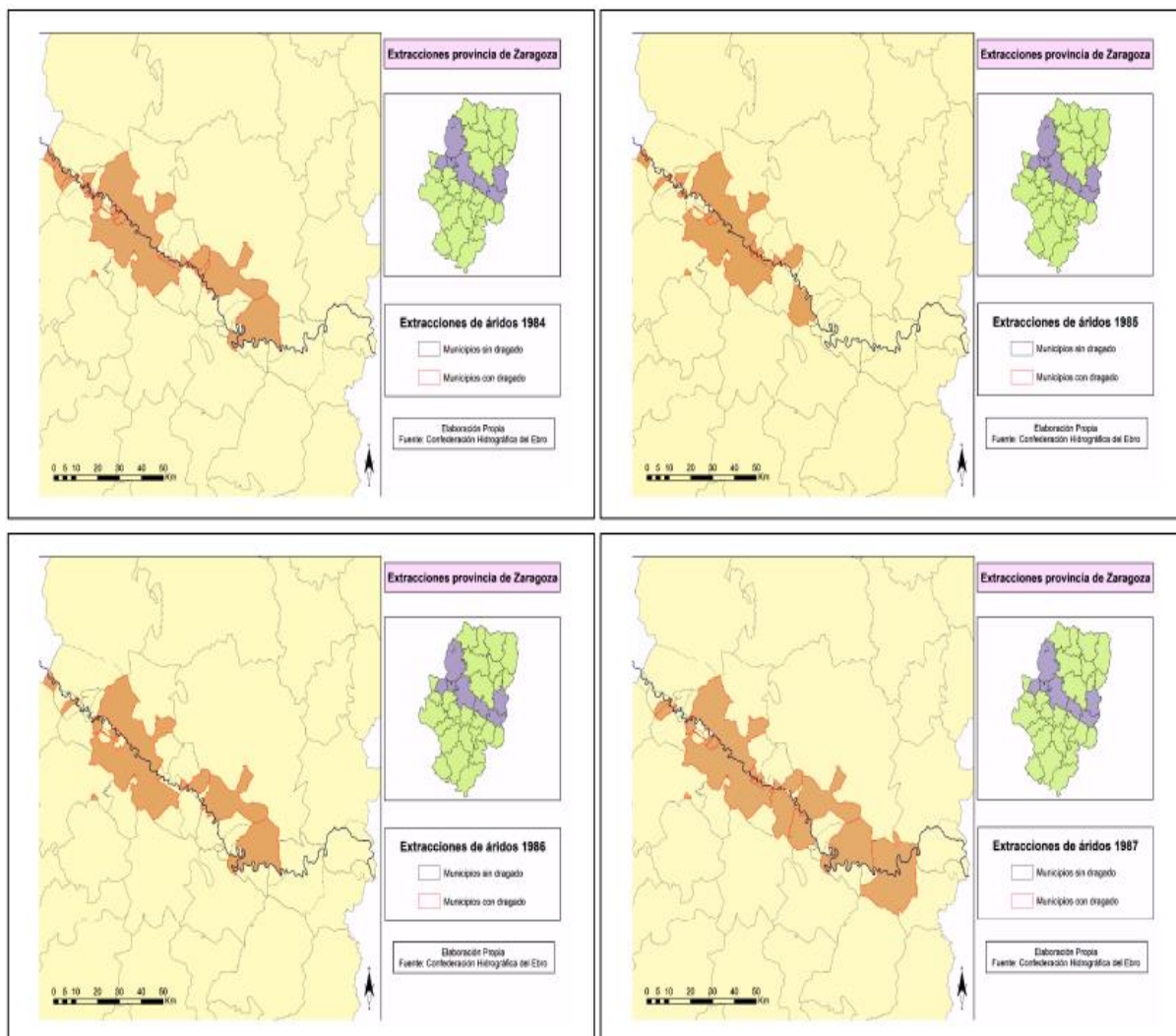


Figura 22. Extracciones de áridos en la provincia de Zaragoza entre los años 1984-1987

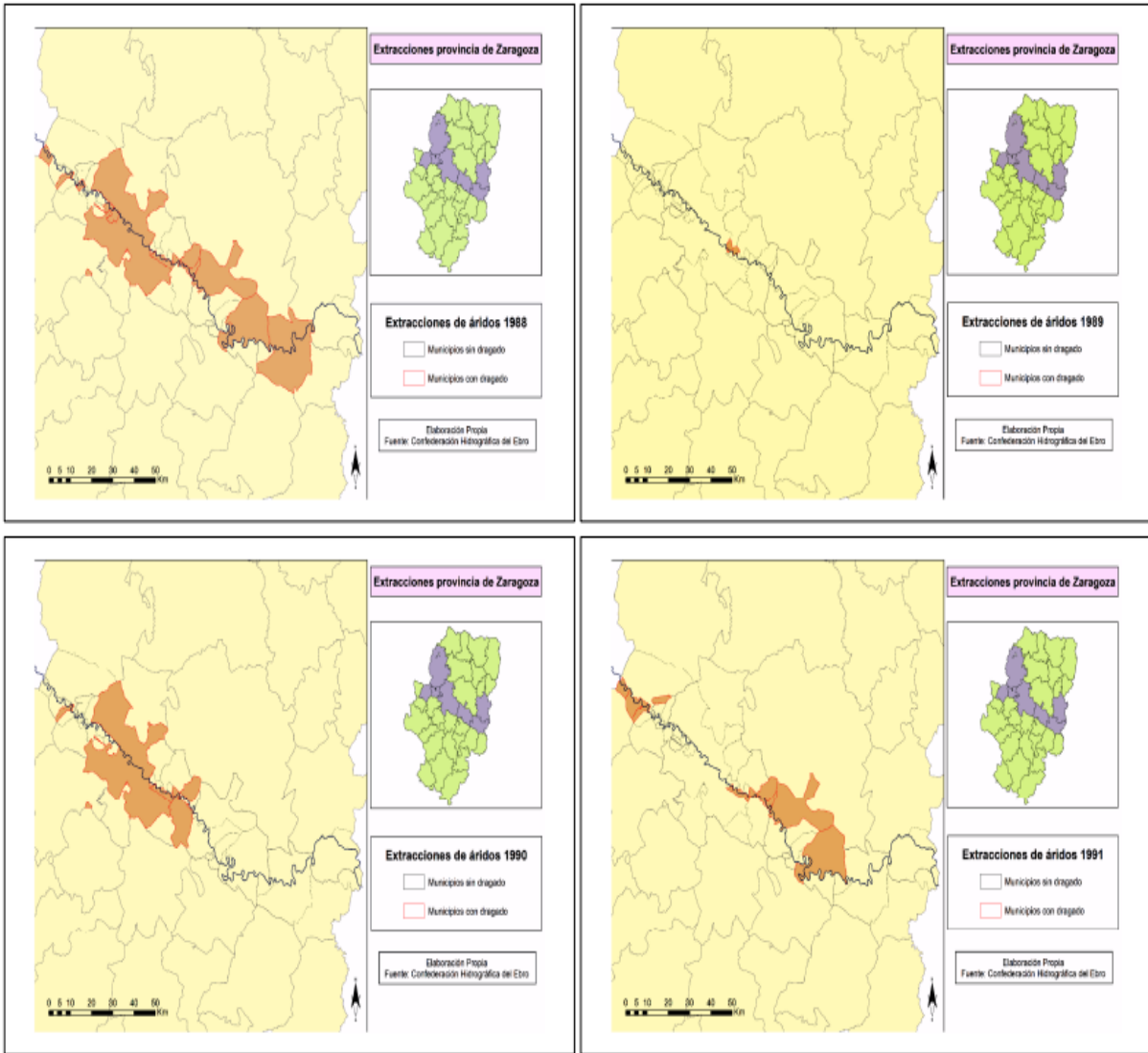


Figura 23. Extracciones de áridos en la provincia de Zaragoza entre los años 1988-1991

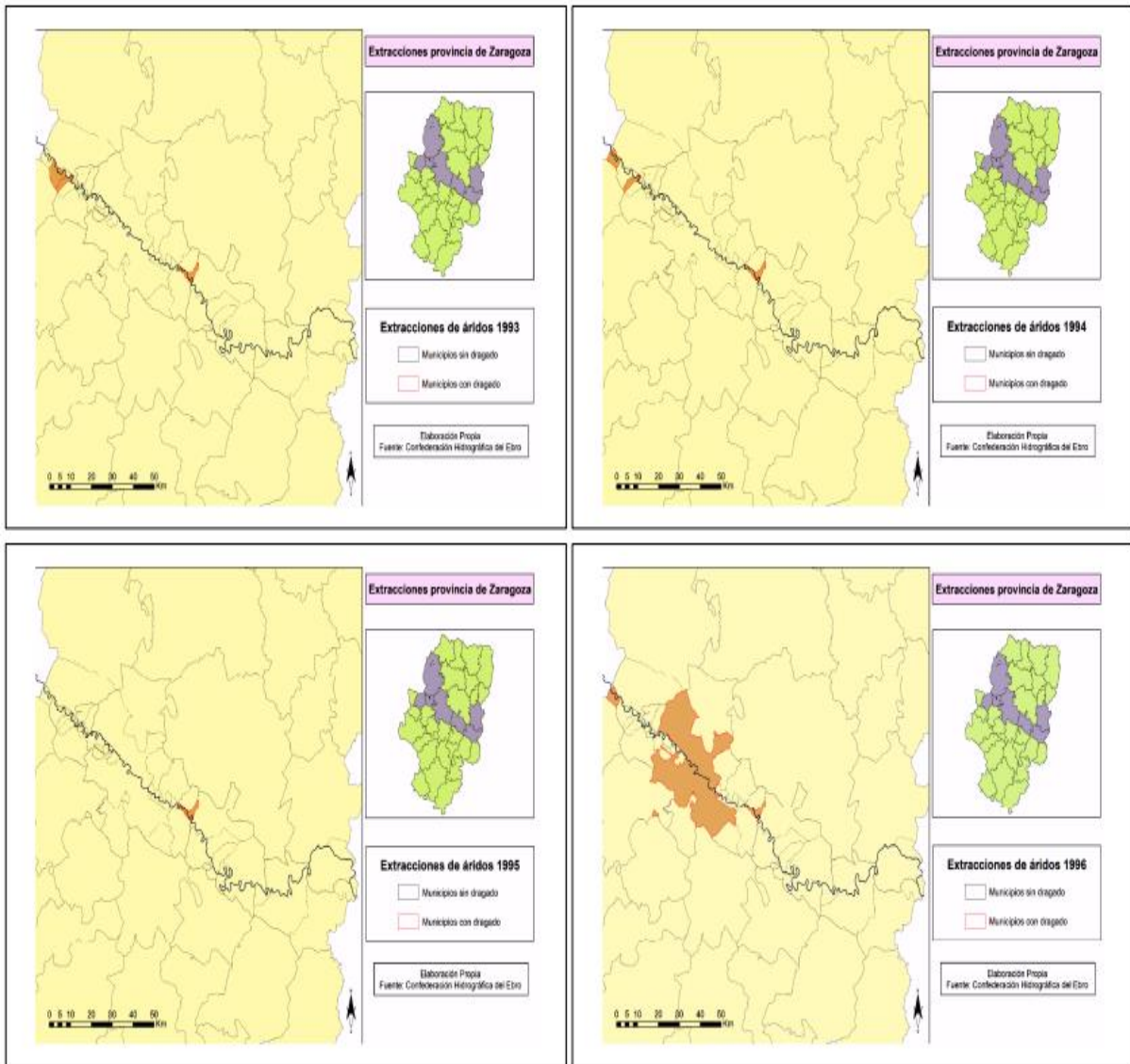


Figura 24. Extracciones de áridos en la provincia de Zaragoza entre los años 1993-1996

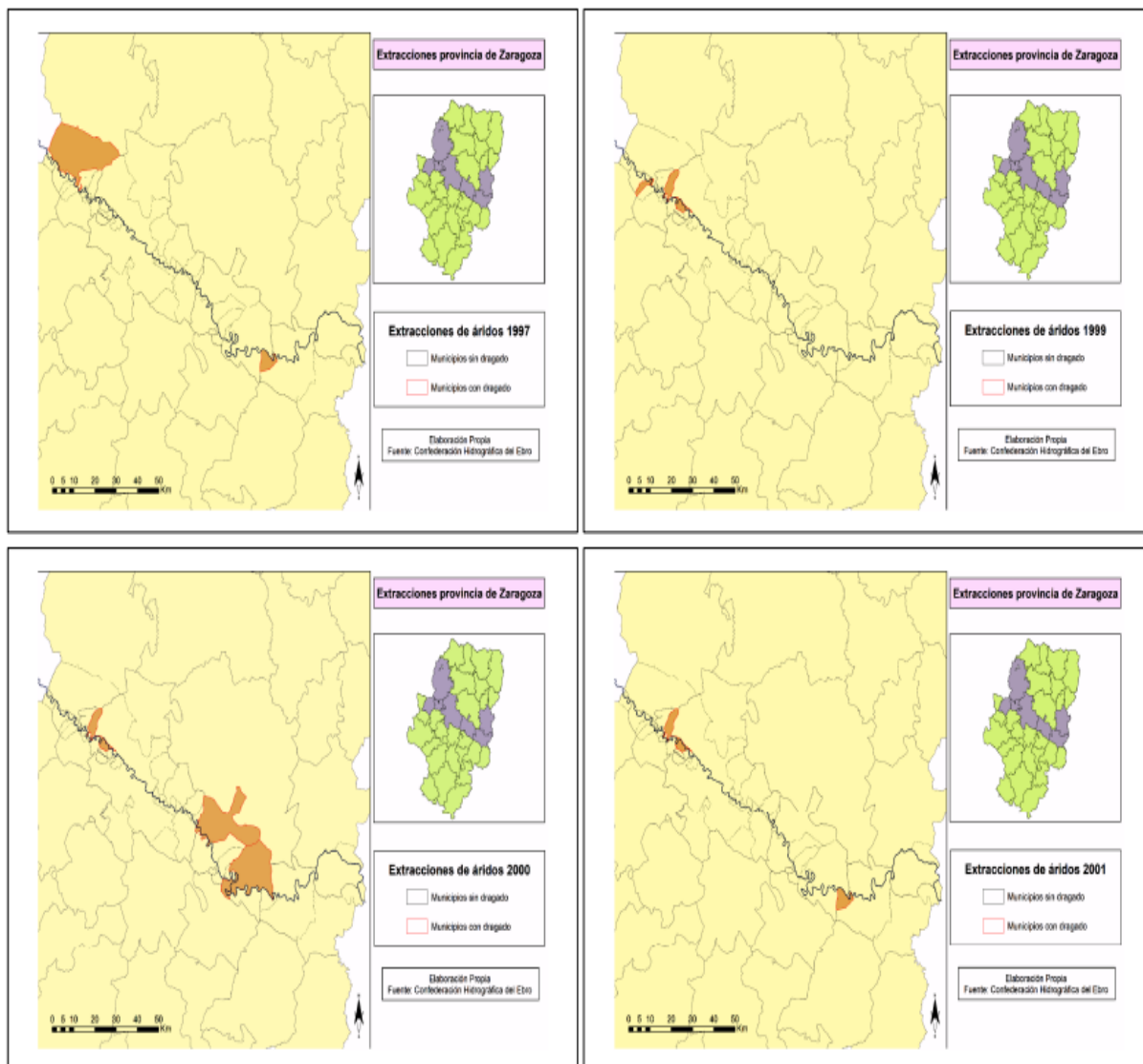


Figura 25. Extracciones de áridos en la provincia de Zaragoza entre los años 1997-2001

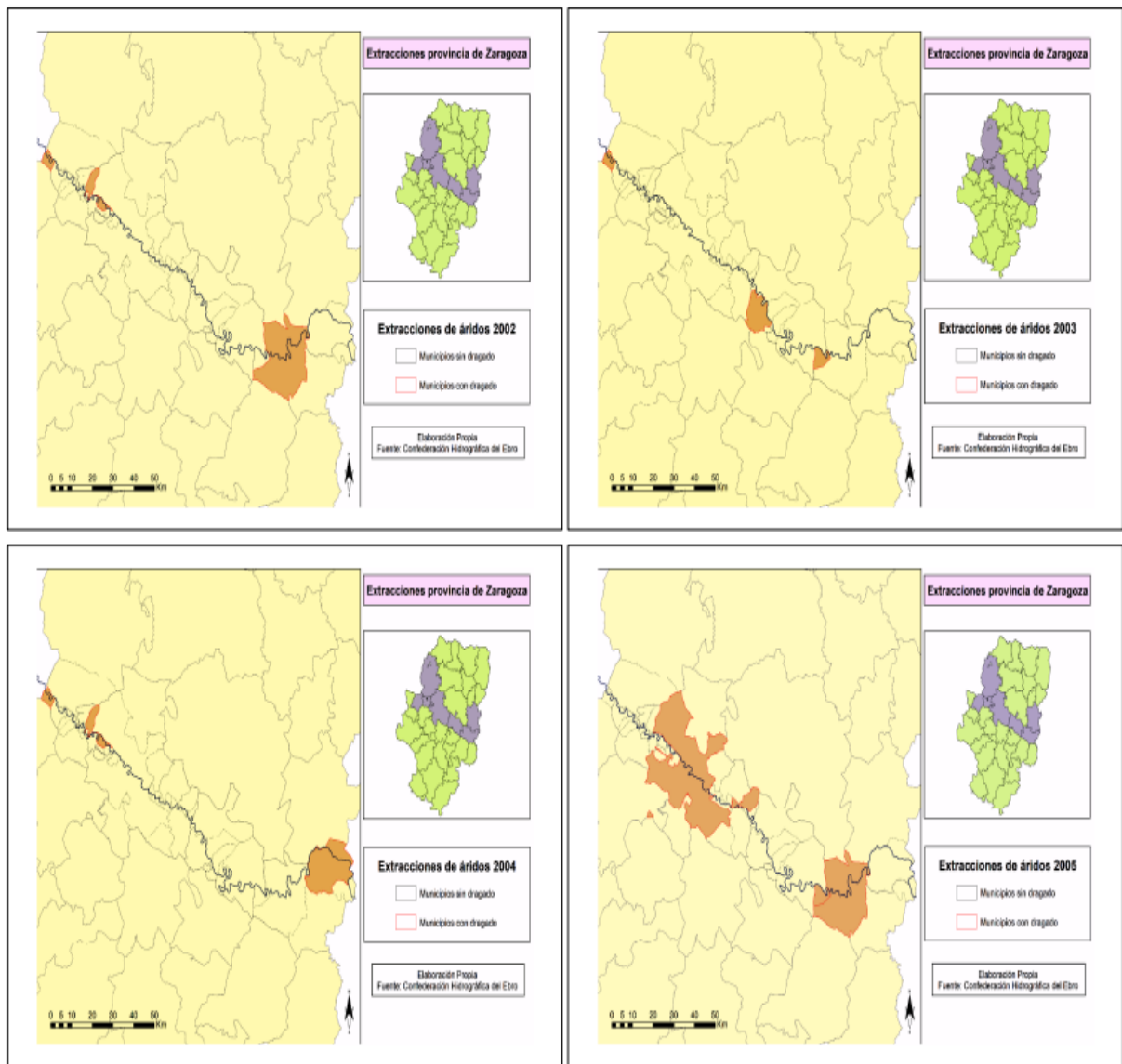


Figura 26. Extracciones de áridos en la provincia de Zaragoza entre los años 2002-2005

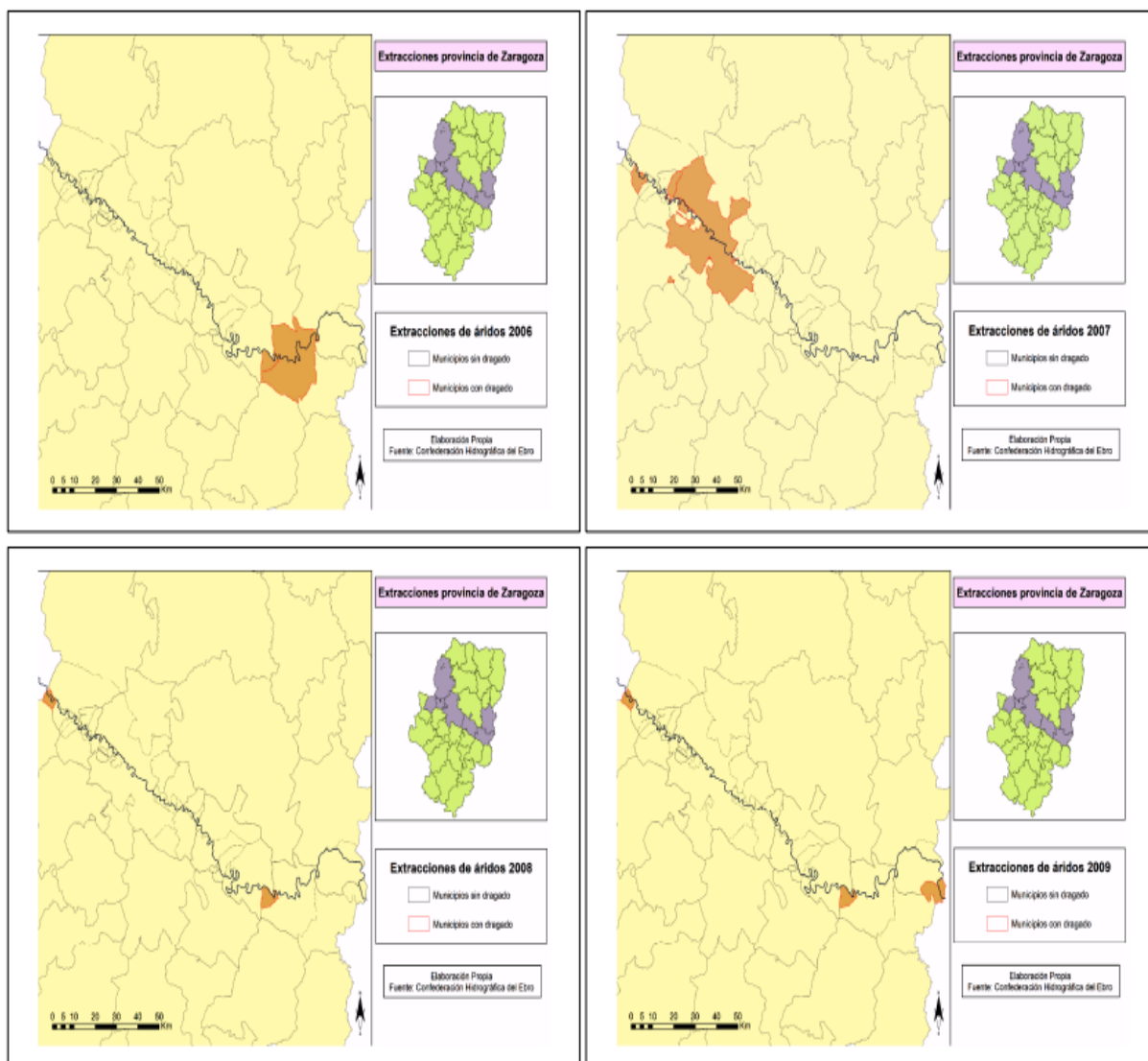


Figura 27. Extracciones de áridos en la provincia de Zaragoza entre los años 2006-2009

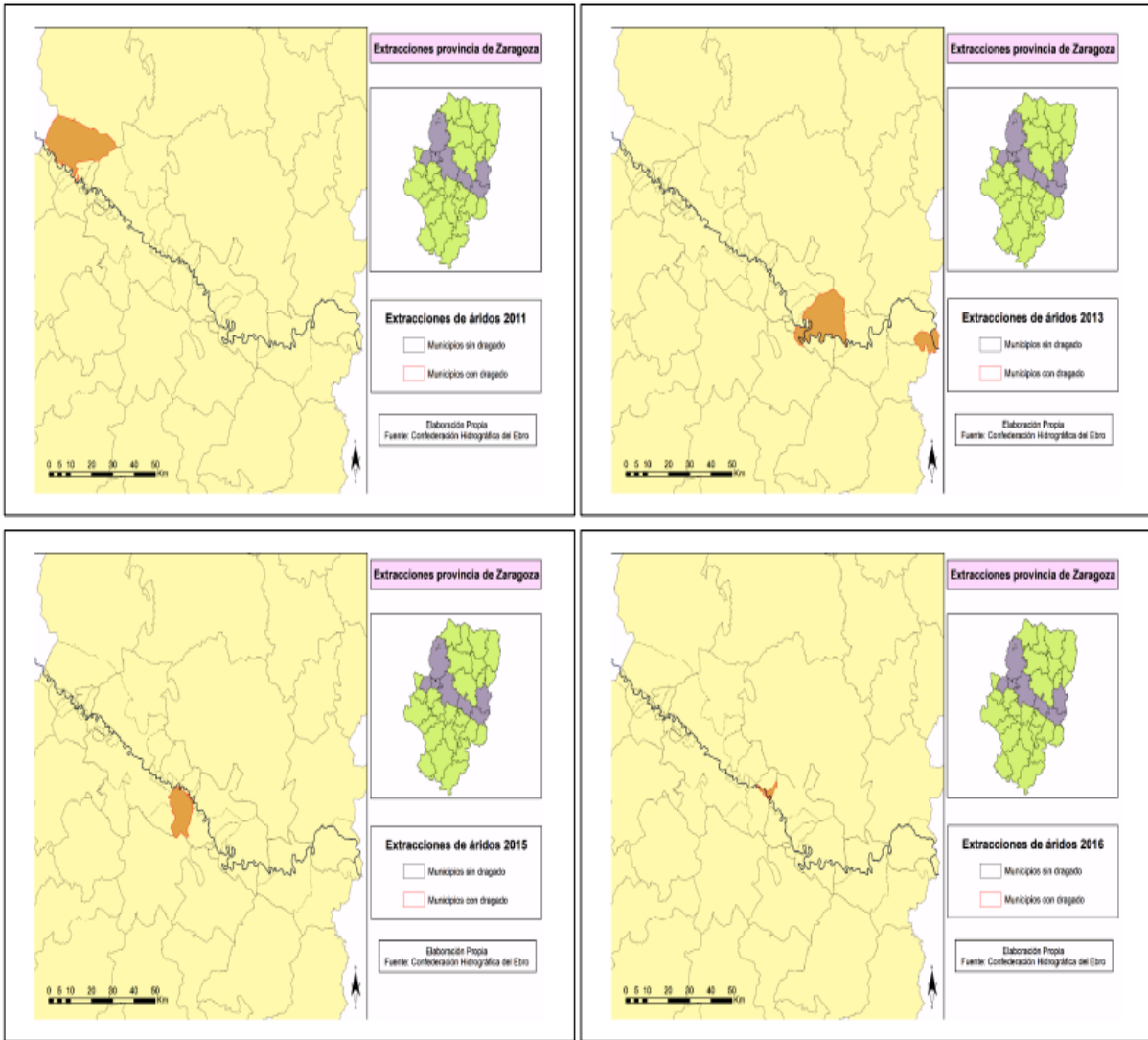


Figura 28. Extracciones de áridos en la provincia de Zaragoza entre los años 2011-2016

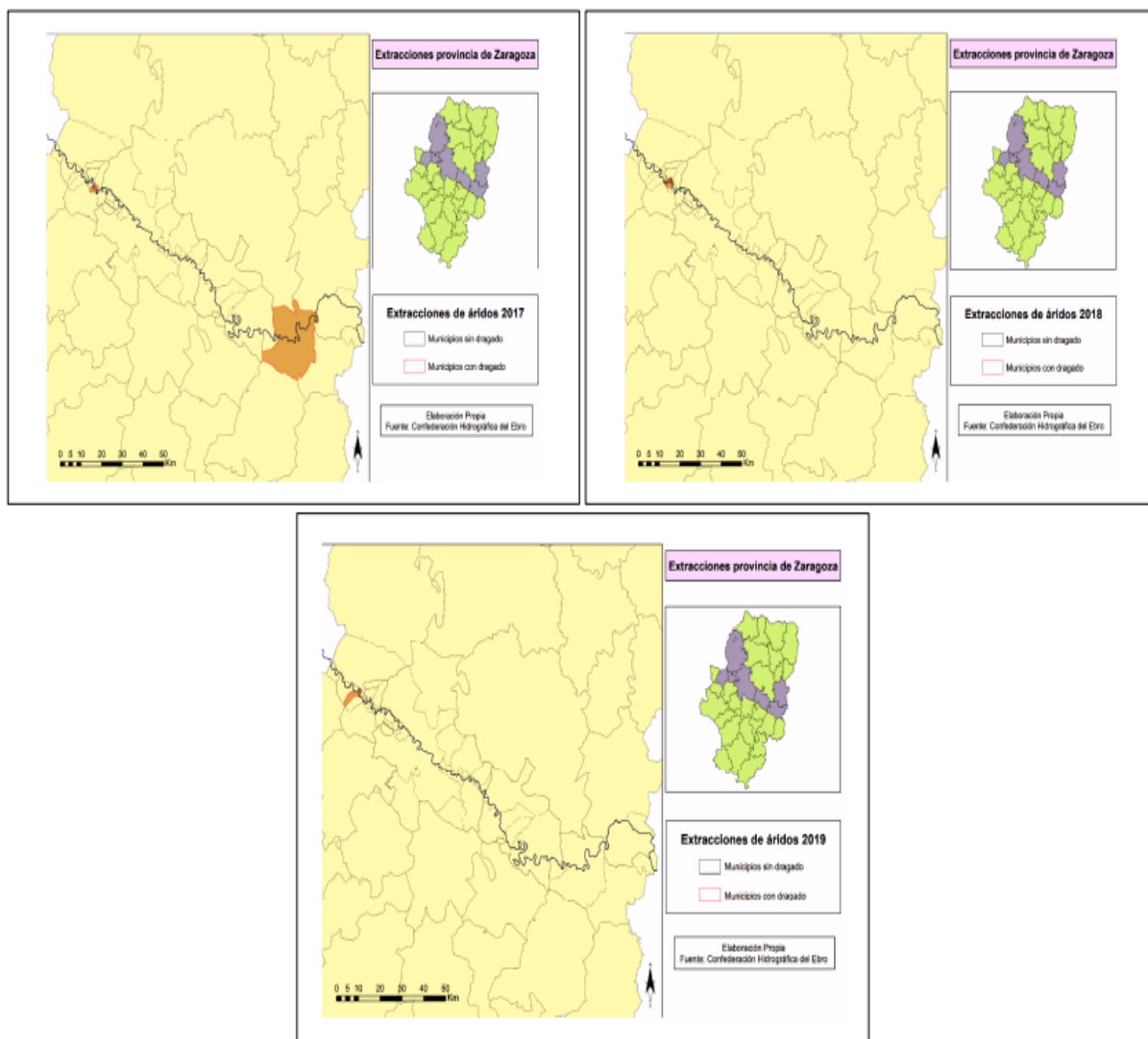


Figura 29. Extracciones de áridos en la provincia de Zaragoza entre los años 2017-2019